



**Fernando Manuel  
Oliveira Queirós**

**Sistema pericial para gestão da qualidade do ar  
interior em edifícios**





**Fernando Manuel  
Oliveira Queirós**

**Sistema pericial para gestão da qualidade do ar  
interior em edifícios**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação científica do Prof. Doutor Nelson Amadeu Martins e do Prof. Doutor José Paulo Santos, ambos Professores Auxiliares do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro.



## **o júri**

presidente

**Profª. Doutora Mónica Sandra Abrantes De Oliveira Correia**  
Professora auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro

vogais

**Doutor Miguel Sala Coutinho**  
IDAD - Instituto do Ambiente e Desenvolvimento, Universidade de Aveiro

**Prof. Dr. Nelson Amadeu Dias Martins**  
Professor auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro

**Prof. Dr. José Paulo Oliveira Santos**  
Professor auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro



## **agradecimentos**

Gostaria de começar por agradecer aos meus orientadores, Professor Doutor Nelson Amadeu Dias Martins e Professor Doutor José Paulo Oliveira Santos pela disponibilidade em contribuir quer para a escolha de um tema que me motivasse bastante, quer para a realização desta dissertação. Quanto ao Professor Doutor Nelson Amadeu Dias Martins, destacaria o conhecimento e a experiência transmitidos, bem como as sugestões e críticas que se revelaram essenciais para ultrapassar alguns obstáculos e para me motivar a fazer cada vez melhor. Ao Professor Doutor José Paulo Oliveira Santos, agradeço sobretudo a motivação e disponibilidade demonstradas, nomeadamente no auxílio prestado na fase de programação em Visual Basic, assim como na resolução de alguns problemas e no esclarecimento de dúvidas. Muito obrigado pela compreensão, força e ajuda.

A todos os meus colegas e especialmente a todos os meus amigos, agradeço a partilha de experiências e conhecimentos, além da motivação e o apoio constantes que me permitiram ultrapassar com um sorriso todas as fases menos boas.

Finalmente, gostaria de prestar os meus maiores agradecimentos aos meus pais e ao meu irmão, que se disponibilizaram desde o princípio a apoiar-me em tudo o que fosse necessário para eu chegar até aqui. Devo-lhes a eles estar neste momento a acabar esta etapa e espero que este culminar seja um motivo de orgulho para eles tal como eles sempre foram um motivo de orgulho e inspiração para mim.





## palavras-chave

Ventilação natural, qualidade do ar interior, conforto térmico, eficiência energética, sistemas inteligentes

## resumo

O surgimento das chamadas “casas inteligentes” é um avanço fundamental para otimizar e potenciar a utilização dos edifícios.

Os sistemas inteligentes revelam-se como ferramentas poderosas para a garantia de uma boa qualidade do ar interior nos edifícios, podendo garantir igualmente um ambiente confortável e eficiente. Tendo ainda em conta que grande parte dos edifícios existentes não possui sistemas de ventilação mecânica e que a má qualidade do ar interior nem sempre é perceptível pelos seus ocupantes, torna-se ainda mais evidente o elevado potencial deste tipo de sistemas nesta matéria.

Através da monitorização das condições ambientais no interior e no exterior de um edifício, é proposto e desenvolvido nesta dissertação um sistema inteligente capaz de accessorar os seus ocupantes para uma gestão correcta das suas aberturas naturais, designadamente das janelas, procurando não apenas garantir a boa qualidade do ar interior, mas também elevados níveis de conforto térmico e baixo consumo energético. Este sistema é composto pelos equipamentos de monitorização do ar interior e exterior e por uma unidade central de processamento dos dados.

No âmbito deste sistema, foi desenvolvida uma aplicação local e um Portal *Web*, responsáveis pelo processamento dos dados, através da aplicação de um modelo de decisão concebido para o efeito, e pela interacção do sistema com o utilizador. O *software* desenvolvido possui um *interface* simples e de fácil acesso, uma vez que se encontra disponibilizado *online*, de forma a tornar assídua a sua utilização. Para além das aplicações, a interacção com o utilizador é efectuada por intermédio de um alerta sonoro presente no interior do espaço.

A análise paramétrica efectuada permite comprovar a elevada capacidade de resposta do modelo à alteração dos parâmetros relativos às condições a que se encontra o espaço a controlar. Desta forma, verifica-se que este apresenta versatilidade de resposta, independentemente das características do edifício, o que significa que tem potencial para ser utilizado em qualquer região, período do ano, tipo de edifício ou até mesmo em edifícios com ou sem climatização interior.

O caso de estudo apresentado compara os resultados relativos às necessidades energéticas e à qualidade do ar interior entre o modelo desenvolvido e as situações em que a janela se encontra sempre aberta e fechada. Os resultados obtidos atestam que as necessidades energéticas do modelo aproximam-se bastante mais do caso em que a janela está fechada, revelando apenas um aumento de 20%, enquanto que a qualidade do ar interior média é significativamente melhor em relação a esse caso. Conclui-se portanto que existe um aproveitamento mais eficiente das taxas de fluxo de ar, com consequências muito positivas nas necessidades energéticas, comprovando o potencial da introdução de sistemas inteligentes na gestão da qualidade do ar interior.



**keywords**

Natural ventilation, indoor air quality, thermal comfort, energy efficiency, intelligent systems

**abstract**

The forthcoming of the “smart homes” is a crucial progress to optimize and potentiate the buildings use.

Intelligent systems have emerged as powerful tools not only for ensuring the indoor air quality of the buildings, but also to ensure a comfortable and efficient environment. Taking into account that most of the existing buildings does not have mechanical ventilation systems and that poor indoor air quality is not always perceived by its occupants, it's even more clear the high potential of these systems in this area.

By monitoring the indoor air quality and the external environmental conditions of the building, it is proposed and developed in this thesis an intelligent system capable of guiding its occupants to an efficient management of its windows, not only to ensure a good indoor air quality, but also good levels of thermal comfort and low energy consumption. This system consists of equipment for monitoring indoor and outdoor air and a central processing unit of the data received by the equipment.

Under this system, a local application and a Web portal were developed, with the purpose of processing the data, using a decision model designed for such matter, and interact with the user. The developed software has a simple and easy to access interface, as it is available online, in order to improve and potentiate its use. Apart from applications, user interaction is also done through an alert sound from the space monitored.

The parametric analysis shows the high responsiveness of the model to changes of the parameters related with the conditions to which the controlled space is exposed. Thus, it's visible the versatility of response of model, regardless of the characteristics of the building, which means it has the potential to be used in any region, time of year, type of building or even in buildings with or without inside air conditioning.

The case study presented compares the results for the energy requirements and indoor air quality between the developed model and the situations in which the window is always opened and always closed. The results show that the energy requirements of the model are very close to the ones verified for the case where the window is closed, with only a 20% increase, while the average indoor air quality is significantly higher in relation to this case. Therefore it is concluded that there is a more efficient use of air flow rates, with very positive results in energy needs, which shows the potential of the introduction of the intelligent systems in the management of indoor air quality.



# ÍNDICE

<b>ÍNDICE.....</b>	<b>i</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>iii</b>
<b>ÍNDICE DE TABELAS .....</b>	<b>iv</b>
<b>LISTA DE ACRÓNIMOS .....</b>	<b>v</b>
<b>NOMENCLATURA .....</b>	<b>ii</b>
<b>Introdução .....</b>	<b>1</b>
1.1. ENQUADRAMENTO .....	1
1.2. OBJECTIVOS.....	5
1.3. CONTRIBUTO DA DISSERTAÇÃO .....	5
1.4. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO .....	6
<b>Revisão Bibliográfica.....</b>	<b>9</b>
2.1. VENTILAÇÃO NATURAL EM EDIFÍCIOS.....	9
2.1.1. <i>Limitações</i> .....	9
2.1.2. <i>Sistemas de Ventilação Natural</i> .....	10
2.1.3. <i>Consumo Energético dos Edifícios</i> .....	12
2.1.4. <i>Qualidade do Ar Interior</i> .....	15
2.1.5. <i>Conforto Térmico</i> .....	20
2.1.6. <i>Monitorização dos Parâmetros Associados à Ventilação Natural</i> .....	23
2.1.7. <i>Sumário</i> .....	27
2.2. SOLUÇÕES TECNOLÓGICAS.....	28
2.2.1. <i>Internet</i> .....	29
2.2.2. <i>Gestão Técnica de Edifícios e Domótica</i> .....	30
2.2.3. <i>Sensores e Tecnologia Wireless</i> .....	33
2.2.4. <i>Sistemas de Apoio à Decisão</i> .....	36
2.2.5. <i>Sumário</i> .....	38
<b>Metodologia e Modelo de Decisão .....</b>	<b>39</b>
3.1. AQUISIÇÃO DE DADOS .....	39
3.1.1. <i>Método de Aquisição dos Dados</i> .....	39
3.1.2. <i>Dados a Monitorizar</i> .....	41
3.2. PROCESSO DE DECISÃO .....	42
3.2.1. <i>Aplicação Desenvolvida</i> .....	42
3.2.2. <i>Modelo de Decisão</i> .....	42
3.3. INTERFACE COM O UTILIZADOR.....	52
3.3.1. <i>Princípios Básicos</i> .....	52
3.3.2. <i>Acesso à Informação</i> .....	53
3.3.3. <i>Informação a Disponibilizar</i> .....	54
3.4. CARACTERIZAÇÃO E POTENCIALIDADES DO SISTEMA .....	56
3.4.1. <i>Arquitectura</i> .....	56
3.4.2. <i>Adaptação aos Tipos de Edifícios</i> .....	57
3.4.3. <i>Integração de sistemas</i> .....	59
3.4.4. <i>Análise Energética e Económica</i> .....	60

<b>Software Desenvolvido.....</b>	<b>63</b>
4.1. APLICAÇÃO LOCAL .....	63
4.1.1. <i>Gestão dos Dados</i> .....	64
4.1.2. <i>Interface</i> .....	64
4.2. PORTAL <i>WEB</i> .....	68
<b>Análise do Modelo Proposto.....</b>	<b>71</b>
5.1. ESPAÇOS ESTUDADOS E SUAS CARACTERÍSTICAS .....	72
5.2. DEFINIÇÃO DAS CONDIÇÕES INTERIORES E EXTERIORES .....	73
5.2.1. <i>Condições Interiores</i> .....	73
5.2.2. <i>Condições Exteriores</i> .....	74
5.3. PERFIL DE OCUPAÇÃO .....	74
5.4. DETERMINAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE CO <sub>2</sub> NO INTERIOR .....	76
5.5. VARIAÇÃO DOS ALERTAS EMITIDOS E NÚMERO DE EXCEDÊNCIAS .....	77
5.5.1. <i>Espaço Climatizado</i> .....	77
5.5.2. <i>Espaço Não Climatizado</i> .....	78
5.6. CONCLUSÕES PRELIMINARES .....	79
5.6.1. <i>Tipo de Espaço</i> .....	79
5.6.2. <i>Estação</i> .....	80
5.6.3. <i>Existência de Climatização</i> .....	81
5.6.4. <i>Zona</i> .....	82
<b>Caso de Estudo .....</b>	<b>85</b>
6.1. JANELA FECHADA .....	86
6.1.1. <i>Necessidades Energéticas</i> .....	86
6.1.2. <i>Nível de QAI</i> .....	87
6.2. JANELA ABERTA .....	87
6.2.1. <i>Necessidades Energéticas</i> .....	87
6.2.2. <i>Nível de QAI</i> .....	88
6.3. MODELO PROPOSTO.....	89
6.3.1. <i>Necessidades Energéticas</i> .....	89
6.3.2. <i>Nível de QAI</i> .....	89
6.4. CONCLUSÕES PRELIMINARES .....	90
<b>CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>95</b>
7.1. CONCLUSÕES GERAIS.....	95
7.2. TRABALHOS FUTUROS .....	98
<b>Bibliografia .....</b>	<b>101</b>
<b>Anexo A - Condições de Referência (RSECE e RCCTE) .....</b>	<b>105</b>
<b>Anexo B - Modelo de Decisão: Resultados .....</b>	<b>108</b>
<b>Anexo C – Implantação proposta .....</b>	<b>110</b>
<b>Anexo D – Portal SGQAE .....</b>	<b>112</b>
<b>Anexo E – Análise do Modelo: Resultados.....</b>	<b>117</b>

# ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Mecanismos físicos da ventilação natural [2].....	3
Figura 2 - Ventilação Unilateral. (a) Duas aberturas; (b) Uma abertura [8] .....	11
Figura 3: Ventilação Cruzada [8] .....	12
Figura 4: Efeito do fluxo de ar nos níveis de poluição e consumo de energia [5] .....	13
Figura 5 - Efeito da taxa de fluxo de ar na QAI [5].....	15
Figura 6: Balanço da concentração de um poluente no interior de um espaço [10].....	18
Figura 7: Variáveis ambientais e o seu efeito no conforto térmico [5]. .....	21
Figura 8 - Níveis de conforto térmico recomendados pela <i>ASHRAE 55-2004</i> [13].....	22
Figura 9 - Conforto térmico recomendado em espaços naturalmente ventilados [13].....	22
Figura 10: Esquema de funcionamento de um SAD .....	37
Figura 11: Arquitectura do sistema .....	56
Figura 12: Janela inicial da aplicação local .....	64
Figura 13: Janela da QAI da aplicação local .....	65
Figura 14: Janela de conforto térmico da aplicação local .....	66
Figura 15: Janela dados de QAI e de conforto térmico da aplicação local .....	66
Figura 16: Janela de Relatórios da aplicação local.....	67
Figura 17: Janelas de dados de condições atmosféricas e de referência da aplicação.....	67
Figura 18: Janela de Histórico da aplicação local .....	68
Figura 19: Página inicial do portal <i>online</i> .....	69
Figura 20: Variação da temperatura considerada no interior com a temperatura exterior ..	74
Figura 21: Perfil de ocupação dos espaços nos dias úteis .....	75
Figura 22: Perfil de ocupação da sala de estar nos dias não úteis .....	75
Figura 23: Necessidades energéticas típicas das duas estações (janela sempre fechada) ...	86
Figura 24: Concentração típica de CO <sub>2</sub> com a janela sempre fechada.....	87
Figura 25: Necessidades energéticas típicas das duas estações (janela sempre aberta) .....	88
Figura 26: Concentração típica de CO <sub>2</sub> com a janela sempre aberta.....	88
Figura 27: Necessidades energéticas típicas das duas estações (janela sempre aberta) .....	89
Figura 28: Concentração típica de CO <sub>2</sub> com o modelo proposto.....	90
Figura 29: Comparação das necessidades energéticas típicas dos casos de estudo.....	91
Figura 30: Comparação das concentrações típicas de CO <sub>2</sub> nos casos de estudo .....	91

# ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Factores e fontes que afectam a QAI e o conforto [9] .....	17
Tabela 2 - Factores a monitorizar para definição da QAI e conforto térmico .....	24
Tabela 3 - Factores exteriores a monitorizar para garantir a ventilação adequada .....	25
Tabela 4 - Exemplos comuns de aplicações da Domótica [15].....	31
Tabela 5 - Dispositivos utilizados na Domótica [15] .....	32
Tabela 6 - Comparação das tecnologias sem fio Bluetooth e <i>ZigBee</i> [23] .....	35
Tabela 7 - Dados a monitorizar pelo sistema .....	41
Tabela 8 - Avaliação do nível de QAI e de conforto térmico .....	45
Tabela 9 - Avaliação das condições no exterior.....	48
Tabela 10 - Peso atribuído a cada parâmetro .....	49
Tabela 11 - Resultados associado ao processo de decisão .....	50
Tabela 12 - Informação a disponibilizar e sua importância para o utilizador .....	55
Tabela 13 - Situações consideradas para análise do modelo.....	72
Tabela 14 - Valores adoptados para os parâmetros dos espaços estudados .....	72
Tabela 15 - Número de alertas e excedências (espaço climatizado) .....	78
Tabela 16 - Número de alertas e excedências (espaço não climatizado) .....	78
Tabela 17 - Resultados anuais obtidos para os diferentes casos de estudo .....	92



# LISTA DE ACRÓNIMOS

AVAC	Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado
C#	<i>C Sharp</i>
COV	Compostos Orgânicos Voláteis
IDE	<i>Integrated Development Environment</i>
ISST	Instituto <i>Fraunhofer</i> de Engenharia de <i>Softwares</i> e Sistemas
I&D	Investigação e Desenvolvimento
J#	<i>J Sharp</i>
NP	Norma Portuguesa
PDA	<i>Personal Digital Assistant</i>
PM <sub>10</sub>	Partículas suspensas com diâmetro inferior a 10 µm
QAI	Qualidade do Ar Interior
RCCTE	Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios
RSECE	Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização de Edifícios
SAD	Sistemas de Apoio à Decisão
SCE	Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios
SI	Sistemas de Informação
TIC	Tecnologias da Informação e Comunicação
URE	Utilização Racional de Energia

# NOMENCLATURA

$A_{Du}$	área da superfície do corpo (área de DuBois)	( $m^2$ )
$C$	concentração média instantânea do poluente	( $mg/m^3$ )
$C_{ext}$	concentração do poluente no exterior	(ppm)
$C_i$	concentração de $CO_2$ no interior	(ppm)
$c_p$	calor específico do ar	( $kJ.kg^{-1}.K^{-1}$ )
$C_0$	Concentração de $CO_2$ no instante inicial	(ppm)
$G$	geração de poluente no interior do espaço	( $mg/h$ )
$M$	taxa metabólica	(met)
$P_{QAI}$	peso atribuído à qualidade do ar interior	-
$P_{CT}$	peso atribuído ao conforto térmico	-
$P_{Ext}$	peso atribuído às condições no exterior	-
$Q$	caudal volúmico de ar novo	( $m^3/s$ )
$Q_{ac}$	caudal volúmico que atravessa o purificador de ar	( $m^3/h$ )
$q_s$	calor sensível	(kW)
$RQ$	rácio entre $O_2$ consumido e $CO_2$ produzido	-
$S$	caudal da fonte emissora do poluente	( $m^3/s$ )
$S_p$	produção de $CO_2$ por ocupante	( $m^3/s$ )
$t$	tempo	(s)
$T_{ext}$	temperatura do ar exterior	( $^{\circ}C$ )
$T_{int}$	temperatura do ar interior	( $^{\circ}C$ )
$T_{REF}$	temperatura de referência	( $^{\circ}C$ )
$V$	volume do espaço	( $m^3$ )
$V_{O_2}$	consumo de oxigénio por ocupante	(l/s)
$v_d$	velocidade de deposição do poluente	( $mg.h^{-1}.m^{-2}$ )
$\Delta T$	diferença entre a temperatura interior e exterior	( $^{\circ}C$ )
$\varepsilon_{ac}$	eficiência do purificador de ar	-
$\lambda_v$	taxa de renovação do ar	( $h^{-1}$ )
$\rho$	Densidade do ar	( $kg/m^3$ )

# CAPÍTULO 1

## INTRODUÇÃO

### 1.1. ENQUADRAMENTO

O apelo e a implementação de medidas relativas à utilização racional da energia (URE) e ao aumento da eficiência energética vêm sendo preocupações crescentes por parte de bastantes países na procura de reduzir o seu consumo energético global.

Quando efectuada a análise ao sector dos edifícios, estatísticas apontam para que estes sejam responsáveis por cerca de 40% da energia consumida na União Europeia [1], o que justifica o facto de este ser um dos sectores mais visados pelas políticas de redução de consumos.

Inicialmente as políticas focalizavam-se na redução dos consumos dos sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado (AVAC), através do aumento do isolamento dos edifícios, impedindo assim as infiltrações de ar. É no entanto importante não negligenciar os efeitos deste tipo de sistemas no conforto e qualidade do ar dentro desses edifícios, embora pesem significativamente na factura energética. Se, por um lado, os consumos relativos a esses sistemas baixavam, baixando consequentemente o consumo global do edifício, a verdade é que o impedimento das infiltrações de ar contribui para a degradação da qualidade do ar interior (QAI). Com efeito, estas políticas tiveram um impacto bastante negativo na saúde, devido à fraca QAI, e no conforto térmico dos ocupantes dos edifícios, que se reflectia na sua produtividade e no seu comportamento [2].

Essas consequências levaram a que, no início da década de 80, se começasse a procurar atingir um equilíbrio entre o consumo de energia dos sistemas de climatização e o ambiente dentro dos edifícios. Não existia, a partir dessa altura, apenas a preocupação de reduzir consumos, mas também a preocupação de garantir um ambiente saudável e confortável dentro dos mesmos.

Posteriormente, durante a década de 90, com a integração dos métodos utilizados durante a fase de construção e os próprios sistemas energéticos do edifício, nasce o

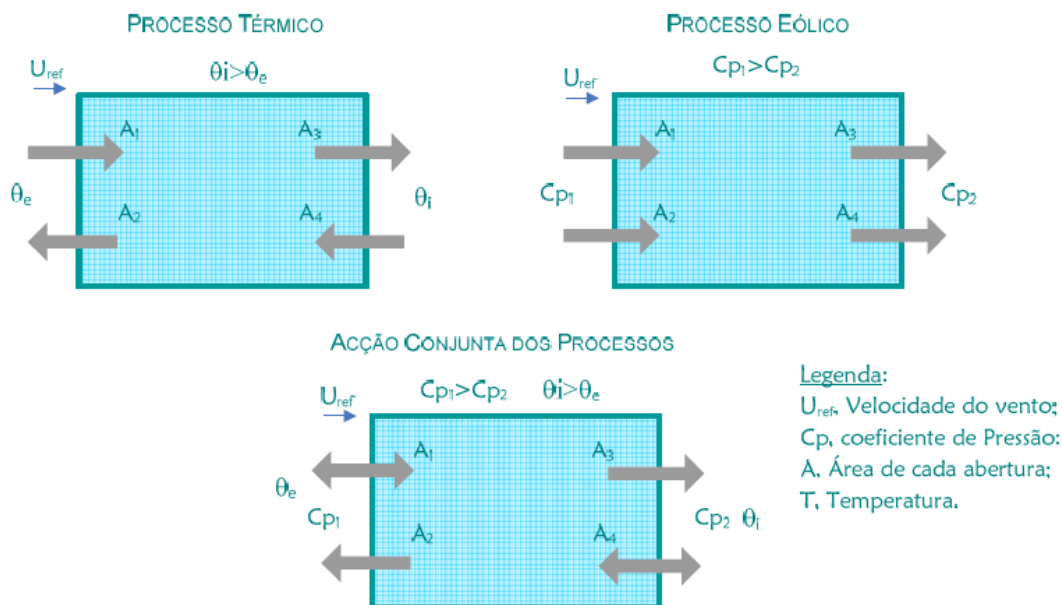
conceito de construção sustentável, que por sua vez serve de base ao conceito de edifício sustentável. A sustentabilidade de um edifício deverá ser atingida ao nível ecológico, económico, social e ambiental, assentando sempre nas vertentes eficiência energética, conforto térmico dos seus ocupantes e QAI.

Em Portugal, as políticas relacionadas com a eficiência energética e com a QAI encontram-se materializadas no Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE), nos quais se englobam os diplomas relativos ao Regulamento de Sistemas Energéticos de Climatização nos Edifícios (RSECE) e ao Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE).

Neste contexto, a ventilação é um processo com impacte directo no conforto e saúde dos ocupantes, contribuindo assim para a sustentabilidade do edifício. Em termos básicos, esta serve para efectuar a extracção do ar poluído e viciado de dentro dos edifícios, através da introdução de ar limpo, de forma a assegurar um ambiente adequado à permanência dos ocupantes e à realização das suas actividades.

A ventilação natural surge desde há muito tempo como um método de extracção de calor, de odores e de poluentes no interior de edifícios, sendo um recurso com bastantes potencialidades, nomeadamente pelo facto de ser renovável e de ser uma alternativa economicamente e ambientalmente mais atractiva do que a ventilação que recorre a meios mecânicos.

O princípio da ventilação natural é baseado num fluxo de ar proveniente do exterior e que entra pelas aberturas do edifício, assegurando a renovação do ar no seu interior. A explicação para este processo tem origem na diferença de pressões (processo eólico) e no gradiente de temperaturas (processo térmico), ou da acção conjunta de ambos, entre o exterior e o interior do edifício, que induzem o movimento de uma massa de ar, como ilustrado na Figura 1. O fluxo de ar que surge desse movimento atravessa as aberturas do edifício, por exemplo portas, janelas, frinchas, chaminés e aberturas para ventilação, e procede à renovação do ar no interior do mesmo.



**Figura 1 - Mecanismos físicos da ventilação natural [2]**

Existe uma grande variação dos parâmetros que caracterizam as forças motrizes pressão e temperatura de um edifício, para além de serem bastante imprevisíveis, o que torna o controlo dos fluxos de ar um processo muito complexo e delicado [3]. Esta variação é muito dependente de factores de construção, nomeadamente o clima, o espaço envolvente e a disposição e forma das aberturas nas fachadas.

O facto de ser dependente das condições ambientais no exterior do edifício limita a sua eficiência, sobretudo em comparação com os sistemas de ventilação mecânica. Porém, estes últimos requerem maior manutenção e limpeza, revelam maior dificuldade em termos de implantação e elevados consumos de energia [2].

Geralmente, o custo de energia de um edifício que utiliza um sistema de ventilação natural é 40% menor do que um que utiliza um sistema de ar condicionado [4], apesar de existir uma tendência crescente na construção de edifícios novos ou renovados com sistemas de ventilação mecânica. Ainda assim, a maioria dos edifícios continuam a ser apenas naturalmente ventilados, o que se pode explicar pelo facto de uma grande parte dos seus ocupantes encontrar-se minimamente satisfeito com o seu ambiente interior, no qual ainda existe algum controlo, sem custos significativos.

Existem muitos motivos para continuar a considerar a ventilação natural uma opção e uma alternativa viável, pois os *designers*, administradores e ocupantes devem considerar os limites da ventilação natural como desafios a serem ultrapassados [5].

A potenciação do processo torna-se assim fundamental na procura de uma conjugação mais interessante entre os níveis de QAI e de conforto térmico e o consumo energético associado ao seu funcionamento. Para isso é essencial o estudo de soluções que visem a sua optimização, quer seja através da sensibilização dos ocupantes para esta temática, quer seja através da concepção e implementação de estratégias e sistemas que os auxiliem na gestão ou mesmo que actuem directamente no processo.

A criação de alternativas aos actuais sistemas de climatização dotados de ventilação mecânica poderá passar pela criação de sistemas inteligentes, capazes de recolher e gerar a informação necessária para uma gestão e um controlo mais eficientes das taxas de renovação de ar provenientes do exterior.

É um facto que é cada vez maior a necessidade de incorporar os edifícios com meios aptos a optimizar os recursos de que dispõem, comprovada pelo aparecimento do conceito dos edifícios inteligentes.

O surgimento do conceito de edifício inteligente e a necessidade de gerir a informação dos sistemas que o integram está na base do aparecimento dos Sistemas de Gestão Técnica. Com a criação desses sistemas surge o conceito de serviço ligado à função ou funções desempenhadas pelos diversos equipamentos de gestão técnica, designadamente o serviço de iluminação, o serviço de controlo de acessos ou o serviço de detecção de incêndios [6].

O principal objectivo destes edifícios seria formar um sistema interligado, tornando o nível de vida mais facilitado, nomeadamente nas áreas de conforto, segurança, gestão de energia e das comunicações [7]. Este tipo de edifícios perfilam-se como ideais para o desenvolvimento de sistemas automatizados capazes de monitorizar e garantir os requisitos de conforto e qualidade do ar, que, entretanto, vêm-se tornando cada vez mais rigorosos.

A concepção de sistemas inteligentes baseados no uso das tecnologias de informação e comunicação (TIC) e nas áreas de Gestão Técnica de Edifícios e Domótica é actualmente uma realidade e tem contribuído para uma evolução constante do conceito de edifício e das necessidades dos seus ocupantes. A possibilidade de integração da informação pelos diversos sistemas e os procedimentos automatizados podem dar um enorme contributo para a diminuição do consumo energético.

A viabilização da ventilação natural face aos actuais sistemas de ventilação mecânica é actualmente necessária e pode passar pela utilização dos recursos tecnológicos por detrás do conceito de edifício inteligente, criando soluções que visem fazer frente às exigências dos ocupantes e às limitações dos sistemas actuais.

### 1.2. OBJECTIVOS

Esta dissertação tem como principal objectivo o desenvolvimento de um sistema capaz de assessorar ocupantes de edifícios na utilização adequada das suas aberturas naturais, designadamente das janelas, procurando maximizar os efeitos positivos que daí possam advir em termos da qualidade do ar interior, do conforto térmico e do consumo energético. Este sistema deverá permitir assegurar um aproveitamento eficiente da ventilação natural nesses edifícios, através da monitorização de parâmetros ambientais no seu interior e no seu exterior, utilizando ferramentas simples e de fácil interpretação, e simultaneamente viável ao nível energético e económico.

No âmbito deste sistema será concebida uma aplicação local, utilizando a linguagem de programação *Visual Basic .NET*, responsável por processar todos os valores relativos aos parâmetros monitorizados, e um portal *Web*, desenvolvido na plataforma *ASP.NET*, que disponibiliza em tempo real na *Internet* o estado recomendado para a janela (aberta ou fechada) e a informação relativa aos parâmetros qualidade do ar interior e conforto térmico, bem como algumas informações sobre o sistema. O processamento dos dados por parte da aplicação local consistirá na aplicação de um modelo a ser desenvolvido, responsável pela recomendação do sistema.

Será ainda efectuada uma análise paramétrica de forma a testar a versatilidade e eficácia do modelo, bem como apresentado um caso de estudo que visa apontar as potencialidades, ao nível energético e no que respeito à QAI, do sistema desenvolvido.

### 1.3. CONTRIBUTO DA DISSERTAÇÃO

Com o trabalho desenvolvido nesta dissertação pretende-se atestar a importância do desenvolvimento e concepção de sistemas inteligentes na optimização do processo da ventilação natural em edifícios. O sistema proposto deverá contribuir para o reconhecimento deste tipo de ventilação como uma alternativa cada vez mais viável à ventilação mecânica, alicerçada nas vertentes energética e económica, e comprovar as potencialidades das ferramentas computacionais e dos processos automatizados na gestão da qualidade do ar interior e do consumo energético nos edifícios.

Espera-se ainda criticar e alertar para o consumo excessivo de energia e consequente impacto ambiental dos actuais sistemas de ventilação mecânica, sobretudo perante a

existência de inúmeros recursos tecnológicos que poderão permitir uma utilização mais racional dos recursos naturais disponíveis.

A concepção do sistema visa fornecer uma base de desenvolvimento de modelos de decisão computacionais que permitam a optimização das taxas de fluxo de ar e criar *interfaces* com grande potencial interactivo, que permitam consciencializar e promover junto dos ocupantes a gestão eficiente das janelas do edifício.

## **1.4. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO**

A metodologia seguida de modo a alcançar os objectivos propostos começa por contemplar, no capítulo 2, uma revisão bibliográfica relativa aos conceitos fundamentais e tecnologias associadas à concepção de sistemas de ventilação natural. Para isso é efectuada uma análise sobre a importância dos efeitos da ventilação natural nos edifícios, nomeadamente no que diz respeito aos parâmetros relevantes de qualidade do ar interior, conforto térmico e consumo energético. No contexto desta dissertação esta fase serve para introduzir alguns conceitos e formalismos associados à ventilação natural e essenciais para o desenvolvimento do sistema. Neste capítulo são ainda abordadas as tecnologias com potencial de aplicação no sistema a conceber. Assim, são contextualizadas as áreas que abrangem a temática da climatização e da automatização de processos em edifícios e descritos de seguida todos os fundamentos e tecnologias associados a cada uma dessas áreas. Isto permitirá seleccionar uma metodologia específica para o desenvolvimento das aplicações computacionais e analisar as várias alternativas que permitam potenciar ao máximo o sistema.

No terceiro capítulo é apresentada a metodologia seguida na concepção do sistema proposto, o que engloba a definição dos equipamentos utilizados e as considerações assumidas para o desenvolvimento da aplicação, em cada uma das suas fases de funcionamento:

- Recolha dos parâmetros ambientais no interior e no exterior do edifício;
- Processamento dos dados e modelo de decisão;
- Disponibilização da informação junto do utilizador.

Esta metodologia engloba ainda a descrição da arquitectura do sistema, o estudo da sua adaptação aos diferentes tipos de edifícios, de modo a poder tirar um maior partido das suas características, e uma análise energética e económica.



No capítulo 4 encontra-se descrito o *software* desenvolvido, através da apresentação do funcionamento e do *interface* da aplicação local, responsável pelo processamento dos dados e pela gestão do sistema, e do Portal *Web*, responsável por disponibilizar na *Web* a informação relevante para o utilizador, resultante da aplicação local.

No capítulo 5 é analisado o modelo de decisão concebido, através da simulação do funcionamento do sistema, designadamente através da escolha do espaço a monitorizar e das condições interiores e exteriores para diferentes situações. Os resultados obtidos nesta análise contribuem para retirar conclusões sobre a capacidade de resposta do modelo à alteração dos parâmetros de entrada.

É ainda apresentado um caso de estudo no capítulo 6, onde se pretende atestar as potencialidades da aplicação do modelo proposto comparativamente a situações em que as janelas se encontram sempre abertas ou sempre fechadas, que consistirão na optimização do consumo energético necessário para a obtenção de uma boa QAI.

Por fim são apresentadas as conclusões retiradas ao longo da realização do trabalho e as perspectivas de futuros trabalhos relacionados com esta área.



## **CAPÍTULO 2**

### **REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **2.1. VENTILAÇÃO NATURAL EM EDIFÍCIOS**

Para a concepção de um sistema que vise promover uma utilização eficiente da ventilação natural nos edifícios é importante reconhecer o potencial de optimização do processo, nomeadamente na vertente energética, na QAI e no conforto térmico. Este reconhecimento permitirá identificar os parâmetros susceptíveis a serem monitorizados, assim como os meios de monitorização, para uma gestão mais competente das renovações do ar no edifício.

A averiguação do actual estado de I&D deste tipo de sistemas também se revela importante para perceber quais os caminhos a seguir e para adquirir competências e informações que sirvam de suporte ao desenvolvimento do sistema proposto.

##### **2.1.1. LIMITAÇÕES**

À concepção de sistemas relativos à utilização da ventilação natural para a renovação do ar no interior dos edifícios está inerente a identificação dos factores negativos que advêm de uma deficiente utilização do processo. Após conhecidos esses factores existe a possibilidade de encontrar técnicas que visem aumentar a eficiência do sistema e que potenciem a sua utilização.

O projecto de um sistema de ventilação natural engloba a análise da disposição e da forma das aberturas nas fachadas dos edifícios, como janelas, grelhas de insuflação e chaminés, uma vez que é através destas que é efectuada a admissão e extracção do ar. De notar que não é desprezável a circulação do fluxo de ar através de frinchas e fendas, sendo este fenómeno involuntário e incontroável designado por infiltrações ou exfiltrações, dependendo do sentido desse fluxo [3].

Existem diversas limitações à utilização da ventilação natural durante a fase de utilização dos edifícios e que influenciam bastante a eficiência do processo. As preocupações com a segurança, o ruído, as correntes de ar, o sombreamento, os odores, a poluição do ar e a utilização descuidada das aberturas, nomeadamente das janelas e portas, servem como entrave para a obtenção de um sistema mais eficiente. Será por isso necessário arranjar formas de solucionar, contornar ou atenuar os efeitos negativos que esses factores provocam no processo, sem que para isso seja necessário recorrer a sistemas altamente complexos ou de elevado consumo energético, que contrariariam os aspectos positivos da utilização da ventilação natural.

A utilização desadequada ou negligente das aberturas do edifício deve-se geralmente ao facto de a má qualidade do ar nem sempre ser perceptível por parte dos ocupantes. No entanto, é possível criar ferramentas e sistemas de auxílio e orientação a esses mesmos ocupantes na gestão da ventilação natural.

Se é verdade que, por um lado, alguns dos factores mencionados e que limitam a utilização deste processo são difíceis de controlar ou dependentes da actividade desenvolvida no edifício, como a segurança, o ruído e o sombreamento, por outro lado é possível monitorizar e controlar as correntes de ar e a poluição do ar. Além disso, existem actualmente condições de referência para o interior dos edifícios, disponibilizadas pelos regulamentos legislativos, e que abrangem estes parâmetros, pelo que, conhecendo as condições na envolvente do edifício, será possível efectuar uma gestão eficiente do processo.

### **2.1.2. SISTEMAS DE VENTILAÇÃO NATURAL**

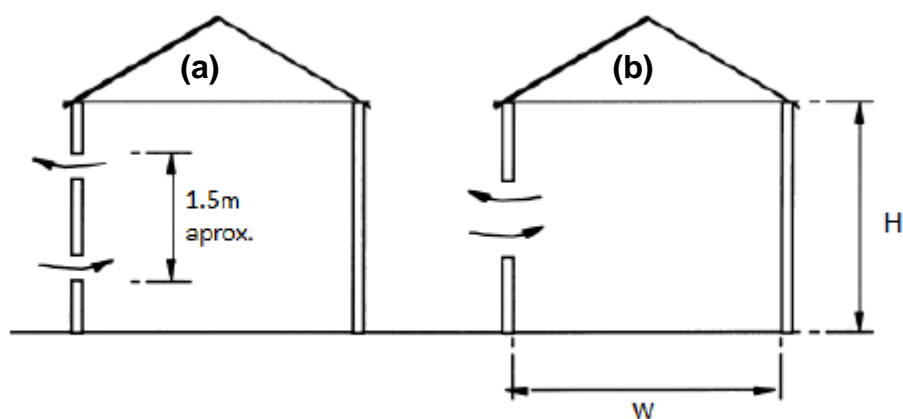
A distribuição e a forma das aberturas nas fachadas dos edifícios é uma questão extremamente importante no aproveitamento da ventilação natural. Assim, é necessário atender ao facto de que diferentes distribuições das aberturas originam diferentes sistemas de ventilação e, por isso mesmo, implicam o estudo da distribuição que maximiza a sua eficiência e consequentemente a QAI no edifício. Os processos habitualmente utilizados pelos sistemas de ventilação natural são os de ventilação unilateral e os de ventilação cruzada.

### 2.1.1.1. Ventilação Unilateral

Este processo ocorre quando as aberturas se encontram colocadas apenas numa das fachadas do edifício. Deste modo a admissão e a extracção do fluxo de ar são efectuadas através da mesma fachada, dificultando a ventilação do espaço interior, uma vez que se pretendem normalmente escoamentos mais longos e turbulentos. Devido a este facto é aconselhável a colocação de pelo menos duas aberturas distanciadas entre si, de forma a procurar aumentar o tempo de escoamento do fluxo de ar no interior do edifício, como ilustrado na Figura 2 - (a).

O facto de a massa de ar admitida se encontrar normalmente a uma temperatura mais baixa do que a do ar interior provoca o efeito chaminé, que faz com que a admissão seja efectuada pelas aberturas inferiores, no caso de haver mais do que uma, ou pela parte inferior da abertura, no caso de apenas existir uma. Nesta última situação existe portanto fluxo de ar nos dois sentidos na mesma abertura, ou seja, existe ar a ser extraído pela parte superior, para além do ar a ser admitido pela inferior, como se pode verificar na Figura 2 – (b).

Deve-se ainda salientar que estas aberturas devem ser colocadas na fachada exposta aos ventos dominantes, de modo a maximizar o efeito do vento na ventilação natural do edifício [3].



**Figura 2 - Ventilação Unilateral. (a) Duas aberturas; (b) Uma abertura [8]**

### 2.1.1.2. Ventilação Cruzada

A ventilação cruzada ocorre quando existem aberturas situadas em diferentes fachadas que originam o fluxo de ar através do espaço situado entre as mesmas, Figura 3. A colocação das aberturas em fachadas opostas beneficia a ventilação do edifício, relativamente à situação em que as aberturas se encontram em fachadas adjacentes, uma vez que isto obriga o escoamento de ar admitido num dos lados a ter que percorrer todo o edifício até ser extraído do outro lado.

A ventilação cruzada é adequada para ventilar espaços profundos, pois o fluxo de ar percorre todo o espaço, desde a abertura de entrada, ou de admissão, até ao lado oposto, onde sai. As partições internas e obstruções no espaço afectam e dificultam o normal fluxo de ar, levando a que o efeito de penetração no espaço seja diminuído [3].

De modo a maximizar a ventilação, as aberturas devem ser colocadas a barlavento (entrada) e a sotavento (saída), para que a diferença de pressão entre as mesmas seja elevada [3].

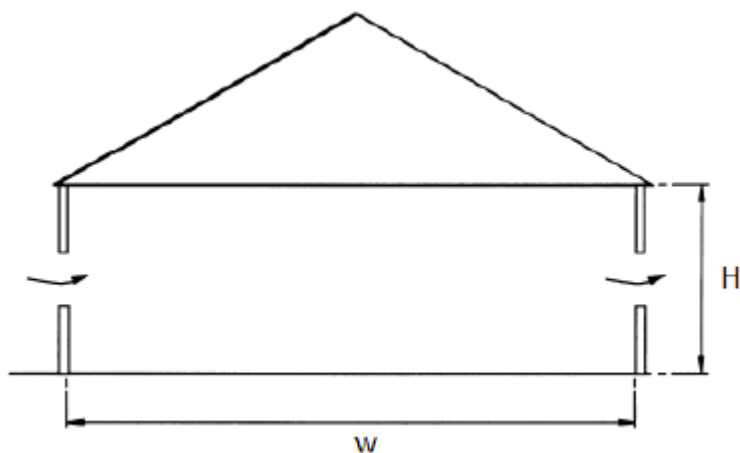


Figura 3: Ventilação Cruzada [8]

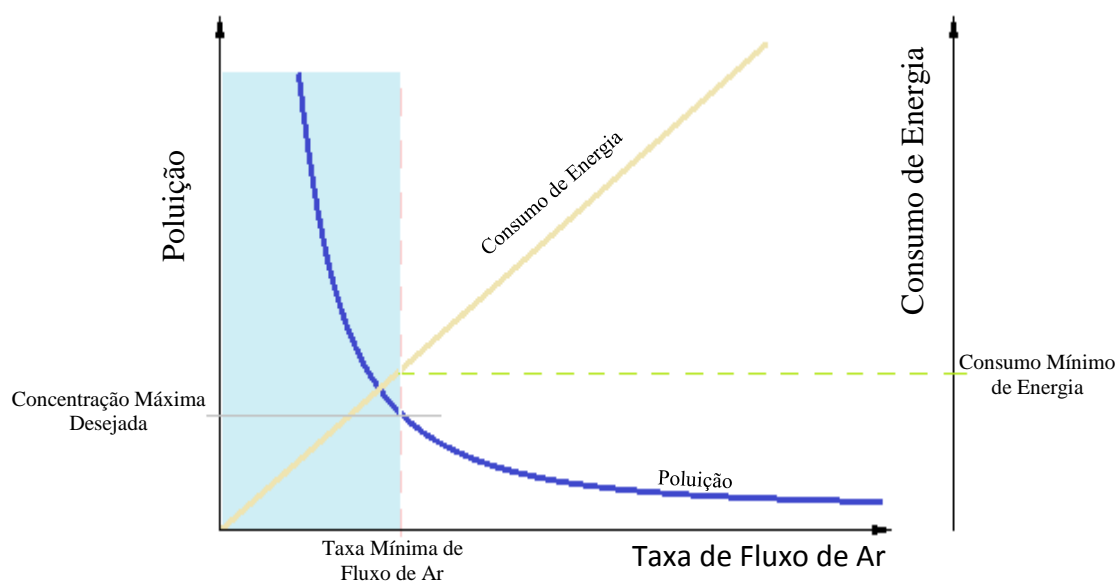
### 2.1.3. CONSUMO ENERGÉTICO DOS EDIFÍCIOS

O consumo de energia dos edifícios encontra-se geralmente associado aos equipamentos eléctricos, à iluminação e aos sistemas de AVAC. Uma melhoria da eficiência energética deste sector implica uma redução de consumo, mantendo, no mínimo,

requisitos de funcionamento idênticos desses sistemas e equipamentos, ou, por outras palavras, implica uma optimização desses consumos.

A utilização da ventilação natural, ao invés da ventilação mecânica, é uma medida que vai de encontro ao conceito da URE, desde que se consigam garantir condições adequadas no interior do edifício, uma vez que não requer energia para efectuar a renovação do ar no interior dos edifícios.

A única energia que pode ser requerida advém da utilização de sistemas de controlo da temperatura e da humidade, nomeadamente sistemas de ar condicionado, de humidificação ou de aquecimento. Nestes casos, o consumo de energia por parte desses sistemas é dependente da taxa de ventilação, que varia com a alteração das condições exteriores e interiores, sobretudo com o vento e a temperatura, e com o comportamento dos ocupantes no que respeita à abertura e ao fecho das janelas e das portas. A Figura 4 mostra o efeito da taxa de fluxo de ar nos níveis de poluição e no consumo de energia no interior dos edifícios [5].



**Figura 4: Efeito do fluxo de ar nos níveis de poluição e consumo de energia [5]**

Assim como é essencial assegurar uma QAI aceitável através de suficientes taxas de renovação do ar, é também fundamental evitar taxas de fluxo de ar demasiado elevadas, pois resultam em maiores consumos de energia. A optimização torna-se deste modo essencial para alcançar uma combinação aceitável de baixas necessidades energéticas e de níveis adequados de QAI, procurando manter as taxas de ventilação dentro de um determinado intervalo [5].

### 2.1.3.1. Consumo Energético Resultante da Renovação de Ar

A manutenção de condições interiores adequadas para a realização das actividades realizadas nos edifícios requer normalmente a utilização de sistemas de AVAC, responsáveis pela renovação do ar, que por sua vez requerem energia por forma a responder às variações da carga térmica total do edifício. Nesse aspecto, o ar exterior introduzido num edifício constitui uma grande parte da carga total do espaço condicionado (para aquecer, arrefecer, humidificar e desumidificar).

As cargas térmicas do espaço são influenciadas pelas trocas de ar pelos seus efeitos em termos de aquecimento ou arrefecimento, humidificação ou desumidificação do espaço, assim como pelo desempenho do sistema de isolamento térmico.

### 2.1.3.2. Calor Sensível

O calor sensível está associado ao consumo de energia para efeitos de aquecimento e arrefecimento, resultante da diferença de temperaturas do ar interior e exterior. A energia requerida para manter a temperatura interior dentro da faixa de temperaturas de conforto desejada é dada pela seguinte equação:

$$q_s = Q\rho c_p \Delta T \quad (1)$$

onde:

Q: caudal de ar novo ( $\text{m}^3/\text{h}$ );

$\rho$ : densidade do ar ( $\text{kg}/\text{m}^3$ );

$c_p$ : calor específico do ar ( $\text{kJ}/\text{kg}^\circ\text{C}$ );

$\Delta T$ : diferença entre a temperatura do ar interior e exterior ( $^\circ\text{C}$ )

Em suma, a determinação da energia necessária para manter as condições desejadas em aquecimento e arrefecimento do espaço é dada por:

$$q_s = \begin{cases} Q\rho c_p (T_{\text{int}} - T_{\text{ext}}) & \text{se } T_{\text{int}} > T_{\text{ext}} \quad (\text{arrefecimento}) \\ Q\rho c_p (T_{\text{ext}} - T_{\text{int}}) & \text{se } T_{\text{int}} < T_{\text{ext}} \quad (\text{aquecimento}) \end{cases} \quad (2)$$

onde:

$T_{\text{int}}$ : Temperatura do ar interior ( $^\circ\text{C}$ )

$T_{\text{ext}}$ : Temperatura do ar exterior ( $^\circ\text{C}$ )



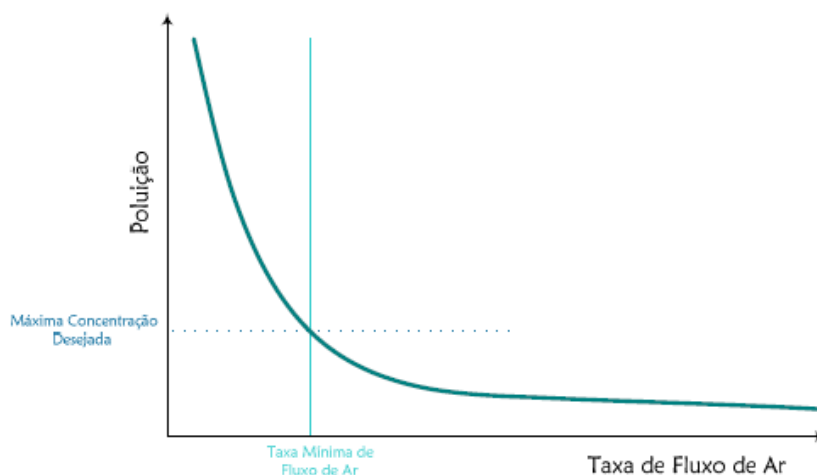
### 2.1.4. QUALIDADE DO AR INTERIOR

É comum conotar a poluição atmosférica como principal fonte dos efeitos negativos da qualidade do ar na saúde pública.

Contudo, constata-se que, em geral, o ambiente no interior dos edifícios apresenta maiores índices de concentração de poluentes, para além de estes serem em maior número, comparativamente com o exterior. As actividades desenvolvidas no seu interior (a utilização de aparelhos a gás, a preparação dos alimentos, a lavagem e secagem da roupa e da loiça, a actividade física, uso de tabaco, etc.), a presença de microorganismos, de materiais e equipamentos poluentes, são factores que ajudam a explicar este facto, sobretudo se, aliado a tudo isto, existir ainda uma deficiente ventilação do espaço.

A utilização da ventilação como meio de efectuar a renovação do ar vem portanto dar resposta à necessidade de extracção de poluentes no interior dos edifícios, permitindo uma remoção significativa do ar contaminado, quer seja de fumos, gases nocivos ou de odores incomodativos.

A definição da ventilação adequada de modo a atingir uma QAI aceitável requer o conhecimento dos poluentes presentes e da sua concentração, tanto no espaço interior como no exterior. Através do conhecimento das fontes poluentes e das concentrações máximas predefinidas para cada um deles é possível encontrar a taxa mínima de ventilação necessária para garantir níveis aceitáveis de QAI. Esta estratégia encontra-se esquematizada no gráfico da Figura 5, onde se pode constatar o decréscimo exponencial da poluição com o aumento da taxa de fluxo de ar no interior do edifício.



**Figura 5 - Efeito da taxa de fluxo de ar na QAI [5]**

A concentração de poluentes no interior não é apenas afectada pelas fontes de poluição internas, nas quais se incluem as actividades de remodelação, renovação e manutenção do edifício, os sistemas de produção de calor, os ocupantes e as suas actividades, mas também pela poluição do ar proveniente do exterior. Deste modo, nem sempre será interessante a utilização da ventilação como forma de diminuir os índices de concentração de poluentes no interior, uma vez que é possível que o fluxo de ar admitido do exterior seja a principal fonte de contaminação do espaço.

Isto significa que a determinação das reais necessidades de ventilação com o intuito de prevenir elevados índices de concentração de poluentes é condicionada pelo tipo e concentração dos poluentes presentes, que por sua vez podem permitir aferir da origem da fonte poluente.

A ventilação é também um meio indispensável no controlo da humidade e na prevenção da condensação no interior do edifício, factores que assumem bastante relevância na poluição do ar interior. O excesso de humidade torna o ambiente interior bastante mais propício ao desenvolvimento de microorganismos, nomeadamente fungos e bactérias, responsáveis pela degradação de materiais e pela emissão de outras substâncias prejudiciais à saúde humana.

A definição adequada dos factores associados à QAI nos edifícios implica a análise dos regulamentos legislativos associados a esta matéria. Através destes é possível definir condições de referência de QAI e de conforto para o interior de edifícios, necessárias para o projecto do sistema de ventilação (e.g., concentrações máximas de cada tipo de poluente, valores padrão de temperatura, de humidade e de renovações de ar). Em Portugal esta análise consistirá sobretudo na revisão do RSECE e, quando dirigida apenas aos sistemas de ventilação natural, da NP 1037-1.

Na Tabela 1 são apresentados alguns dos principais factores que afectam a QAI e o conforto dos ocupantes, assim como as fontes que estão na sua origem.

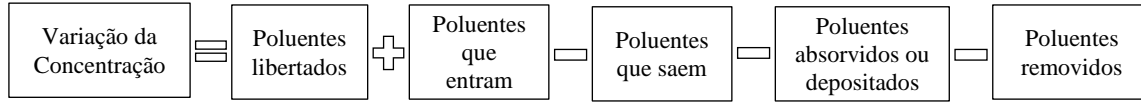
**Tabela 1 - Factores e fontes que afectam a QAI e o conforto [9]**

<b>Factor</b>	<b>Fonte</b>
Temperatura e valores extremos de humidade	Colocação imprópria dos dispositivos de medição (termostatos), deficiente controlo de humidade, incapacidade do edifício de compensar extremos climáticos, número de equipamentos instalados e a densidade de ocupação.
Dióxido de carbono	Número de pessoas, queima de combustíveis fósseis, (gás, aquecedores, etc.).
Monóxido de carbono	Emissões de veículos (garagens, entradas de ar), combustão, fumo do tabaco.
Formaldeído	Madeira prensada, contraplacado não selado, isolamento de espuma de ureia – tecidos, cola, carpetes, mobiliário, papel químico.
Partículas	Fumo, entradas de ar, papel, isolamento de tubagens, resíduos de água, carpetes, filtros de AVAC, limpezas.
Compostos Orgânicos Voláteis (COV)	Fotocopiadoras e impressoras, computadores, carpetes, mobiliário, produtos de limpeza, fumo, tintas, adesivos, calafetagem, perfumes, laca, solventes.
Ventilação inadequada (ar exterior insuficiente, deficiente circulação)	Medidas de poupança de energia e manutenção, má concepção do projecto do sistema de AVAC, operação deficiente de funcionamento, alteração do sistema de funcionamento de AVAC pelos ocupantes, concepção desajustada dos espaços em avaliação.
Matéria microbiana	Água estagnada em sistemas de AVAC, materiais molhados e húmidos, desumidificadores, condensadores das torres de arrefecimento ( <i>chillers</i> ), torres de refrigeração.

Não é anormal a ocorrência de situações em que os próprios sistemas de ventilação sirvam como fonte de contaminação do ar. A realidade é que a falta de manutenção e limpeza dos equipamentos pode originar a acumulação de pó e diversos tipos de sujidade, que por sua vez podem contribuir para o aparecimento de microorganismos e para o aumento das emissões de partículas.

### **2.1.1.3. Variação da Concentração de Poluentes**

A concentração média de um poluente num espaço monozona pode ser estimada através do balanço de massa da sua concentração, representado na Figura 6.



**Figura 6: Balanço da concentração de um poluente no interior de um espaço [10]**

Através deste balanço é possível determinar a evolução temporal da concentração de um dado poluente, utilizando a seguinte equação diferencial [10]:

$$\frac{dC}{dt} = \frac{G}{V} + \lambda_V C_{\text{ext}} - \lambda_V C(t) - v_d \frac{S}{V} - \frac{Q_{\text{ac}}}{V} C \epsilon_{\text{ac}} \quad (3)$$

onde:

C: concentração média instantânea do poluente ( $\text{mg}/\text{m}^3$ );

t: tempo (s);

G: geração de poluente no interior do espaço ( $\text{mg}/\text{s}$ );

V: volume do espaço ( $\text{m}^3$ );

$\lambda_V$ : taxa de renovação do ar ( $\text{h}^{-1}$ );

$C_{\text{ext}}$ : concentração do poluente no exterior ( $\text{mg}/\text{m}^3$ );

$v_d$ : velocidade de deposição do poluente ( $\text{mg} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ );

S: área da superfície de deposição ( $\text{m}^2$ );

$Q_{\text{ac}}$ : caudal através do purificador de ar ( $\text{m}^3/\text{h}$ );

$\epsilon_{\text{ac}}$ : eficiência do purificador de ar.

#### 2.1.1.4. CO<sub>2</sub> como Indicador da QAI

Num edifício com uma baixa taxa de ventilação, a concentração de CO<sub>2</sub> tende a aumentar ao longo do dia, devido sobretudo ao aumento das taxas de ocupação. Assim, é possível afirmar que este poluente poderá fornecer indicações da concentração de poluentes cuja fonte de poluição esteja relacionada com a ocupação do edifício [11].

Torna-se assim razoável assumir que a monitorização deste poluente pode funcionar como um meio de avaliar se estão a ser introduzidas suficientes taxas de ventilação de ar novo proveniente do exterior. Isto significa que na presença de níveis elevados de CO<sub>2</sub> é

provável que existam insuficientes renovações de ar e que, desse modo, os outros poluentes também se vão acumulando.

Contudo, esta premissa não deverá ser sempre válida, uma vez que o CO<sub>2</sub> não fornece qualquer indicação sobre poluentes cuja fonte não esteja associada à taxa de ocupação do espaço. Perante a existência de uma fonte significativa de emissão de outro tipo de poluentes (e.g., a partir de materiais de construção, mobiliário, alcatifas), e se os níveis de CO<sub>2</sub> forem adequados, pode acontecer que seja necessário efectuar a sua extracção, mas que a monitorização de CO<sub>2</sub> não chegue para fornecer essa indicação.

A determinação da variação da concentração média de CO<sub>2</sub> num espaço monozona pode ser efectuada a partir da Equação (3). Para efeitos de simplificação são normalmente desprezados os termos relativos aos poluentes absorvidos, depositados e filtrados e considerada apenas a emissão de CO<sub>2</sub> por parte dos ocupantes, pelo que é possível utilizar a seguinte equação:

$$\frac{dC_i}{dt} = \frac{S}{V} + \lambda_v C_{ext} - \lambda_v C_i(t) \quad (4)$$

onde:

$C_i$ : concentração média instantânea de CO<sub>2</sub> no interior (mg/m<sup>3</sup>);

$S$ : produção de CO<sub>2</sub> pelos ocupantes (mg/s);

$V$ : volume do espaço (m<sup>3</sup>);

$\lambda_v$ : taxa de renovação do ar (h<sup>-1</sup>);

$C_{ext}$ : concentração instantânea de CO<sub>2</sub> no exterior (mg/m<sup>3</sup>).

### 2.1.1.5. Produção de CO<sub>2</sub> por Ocupante

A respiração humana é normalmente responsável por grande parte do CO<sub>2</sub> emitido no interior de um edifício. A produção de CO<sub>2</sub> por pessoa é dependente de factores como a actividade física e as suas características físicas. Assim, a cada pessoa encontra-se associado um rácio específico entre o CO<sub>2</sub> emitido e o oxigénio (O<sub>2</sub>) consumido durante a respiração, normalmente designado por RQ.

A produção de CO<sub>2</sub> por ocupante é dada pela seguinte equação:

$$S_p = V_{O_2} RQ \quad (5)$$

onde:

$S_p$ : emissão de  $CO_2$  por pessoa (l/s);

$V_{O_2}$ : consumo de oxigénio por pessoa (l/s).

Por sua vez, o oxigénio consumido por cada pessoa pode ser obtido através da seguinte equação:

$$V_{O_2} = \frac{0,00276 A_{Du} M}{(0,23 RQ + 0,77)} \quad (6)$$

onde:

$A_{Du}$ : área da superfície do corpo ( $m^2$ );

M: taxa metabólica (met).

### 2.1.5. CONFORTO TÉRMICO

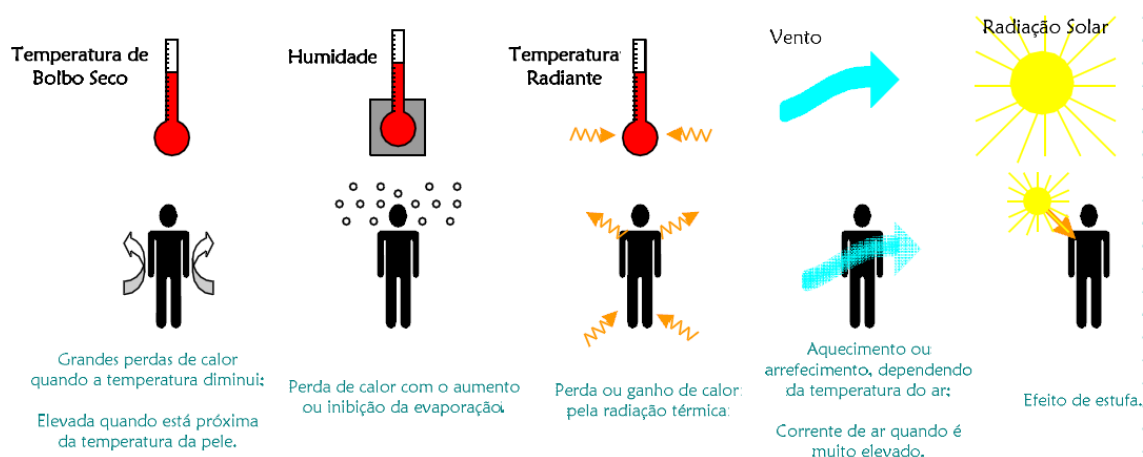
Ao conceito de QAI encontra-se normalmente associado o conceito de conforto térmico, sendo que a boa combinação destes dois parâmetros é fundamental para o ambiente sentido no interior dos edifícios. Assim sendo, um ambiente adequado para os ocupantes requer bons índices de QAI e de conforto térmico.

A sensação de conforto é algo bastante subjectivo e variável com as preferências e com a sensibilidade de cada ser humano relativamente às condições a que se encontra exposto. A subjectividade inerente a este conceito dificulta a definição de valores de referência que satisfaçam todos os ocupantes, não obstante ser possível propor estratégias e condições de conforto admissíveis para a grande maioria. Para isso é necessário analisar a influência de cada um dos factores associados a este parâmetro no balanço térmico do corpo humano, de modo a obter um equilíbrio entre o calor que é produzido e o calor que é libertado para o ambiente que o envolve.

A sensação de conforto térmico depende da conjugação de factores individuais, ou pessoais, como o metabolismo, a actividade humana, a idade, o sexo e o vestuário, e de factores ambientais, ou físicos, como a temperatura e a humidade relativa do ar, a temperatura média radiante e a velocidade do ar.

A Figura 7 mostra o efeito dos factores ambientais no conforto térmico dos ocupantes do edifício. Do ponto de vista dos sistemas de climatização, existe apenas a possibilidade da sua adaptação e concepção de modo a procurar controlar este tipo de factores. Assim, tal como se utiliza a ventilação como um meio de controlar a QAI, é possível utilizar este mesmo fenómeno com o intuito de garantir o conforto térmico dos ocupantes.

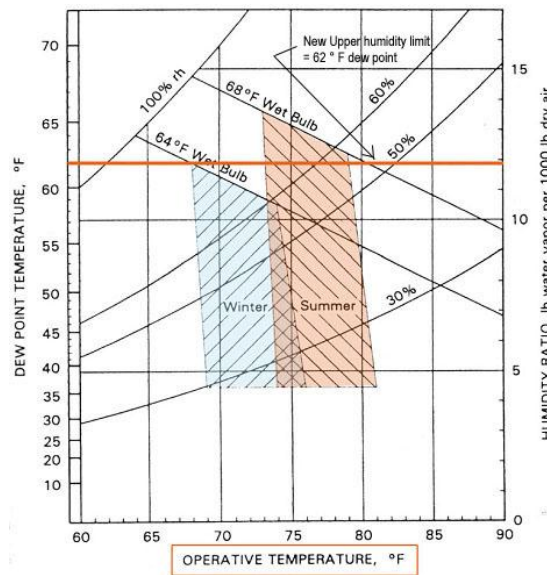
As condições de referência para este parâmetro podem ser obtidas nos regulamentos legislativos associados a esta matéria, nomeadamente no que respeita à temperatura, humidade e velocidade do ar interior, tanto para a estação de aquecimento (Inverno), como para a estação de arrefecimento (Verão).



**Figura 7: Variáveis ambientais e o seu efeito no conforto térmico [5].**

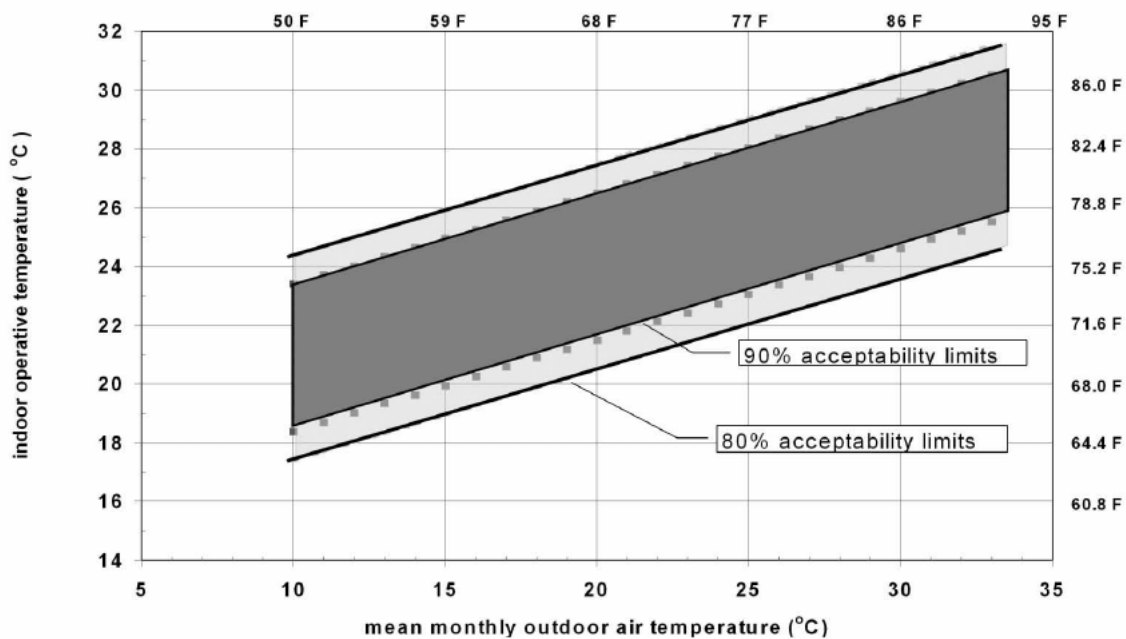
O conforto térmico nos edifícios é uma condição importante a alcançar para o bem-estar, saúde e produtividade dos seus ocupantes. O desconforto é um indicador importante para a saúde, sendo o primeiro sintoma que alerta os ocupantes para o facto das condições em que se encontram não serem adequadas às suas necessidades, pelo que estes devem actuar, por exemplo, fechando ou abrindo uma janela ou porta, ou mudando de local [12].

A norma *ASHRAE 55-2004* propõe a implementação de condições de referência para o Inverno e para o Verão que garantem níveis aceitáveis de conforto térmico para um mínimo de 80% dos ocupantes, considerando a temperatura e humidade relativa do ar, e que se encontram representadas no gráfico da Figura 8. Esta proposta foi aceite na globalidade pelos projectistas e fornecedores de sistemas de climatização de edifícios, tendo sobretudo a vantagem de facilitar o método de dimensionamento e concepção desses sistemas.



**Figura 8 - Níveis de conforto térmico recomendados pela ASHRAE 55-2004 [13]**

A mesma norma propõe ainda um método para a obtenção dos valores aceitáveis de conforto térmico em edifícios que recorram apenas a processos de ventilação natural. Contudo, são apenas definidas as condições com base nas temperaturas, nomeadamente a temperatura média mensal no exterior e a temperatura do ar no interior do edifício. O gráfico da Figura 9 representa as condições de referência propostas por este método para taxas de aceitação de 80% e de 90%.



**Figura 9 - Conforto térmico recomendado em espaços naturalmente ventilados [13]**



Actualmente sabe-se que o conforto térmico não é tão linear, uma vez que os mesmos ocupantes se podem sentir confortáveis em condições térmicas diferentes, consoante as características do edifício.

Por exemplo, num edifício de serviços que depende de sistemas de ventilação mecânica para criar as condições de conforto (o que, em Portugal, é o caso na grande maioria dos edifícios de serviços, construídos para esse fim, desde os anos 90), a tolerância das pessoas às amplitudes térmicas é muito menor do que se as mesmas pessoas se encontrarem num espaço interior “passivo”, que não dependa de sistemas mecânicos para alcançar condições de conforto térmico. Estas investigações provaram que a sensação de conforto térmico não é absoluta, mas sim adaptativa, e que essa capacidade de adaptação às condições climáticas do contexto em que se está inserido torna-se mais ampla, mais tolerante, quando o clima em causa resulta de um contexto natural (ao contrário de um artificial). As investigações revelaram que a temperatura e a humidade relativa que originam o estado de conforto em espaços interiores são variáveis e possuem uma forte relação com a temperatura média no exterior [12].

Existem áreas geográficas onde existe possibilidade de garantir conforto térmico de uma forma natural praticamente durante todo o ano. Na grande maioria dos climas da Europa, no entanto, as amplitudes térmicas naturais vão para além dos limites de tolerância do ser humano, resultando na necessidade de se proteger do clima e das suas intempéries para conseguir sobreviver.

Portugal tem condições climáticas muito boas, onde as suas temperaturas médias correspondem exactamente àquelas consideradas confortáveis pelo ser humano, cerca de 18 a 26°C, que podem ser aproveitadas e transformadas em mais mais-valias na concepção de sistemas de ventilação natural [12].

### **2.1.6. MONITORIZAÇÃO DOS PARÂMETROS ASSOCIADOS À VENTILAÇÃO NATURAL**

Os requisitos de QAI e de conforto térmico são atingidos quando os factores associados a estes parâmetros se encontram dentro dos valores limite de referência impostos pelos regulamentos. Existe portanto a necessidade de efectuar a monitorização desses parâmetros, utilizando para isso equipamentos adequados e efectuando medições nos locais de interesse. Só desta forma será possível determinar a eficácia dos sistemas de

ventilação em termos do controlo da qualidade do ar nos edifícios, uma vez que a percepção humana, por si só, não é suficiente para conseguir efectuar essa gestão.

Da análise dos regulamentos relativos à legislação em vigor, nomeadamente do RSECE e do RCCTE, podem ser identificados os factores a controlar. Bons índices de QAI e de conforto térmico requerem, portanto, a medição dos factores ambientais que exercem influência nesses parâmetros, apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2 - Factores a monitorizar para definição da QAI e conforto térmico**

<b>Parâmetro</b>	<b>Factores a monitorizar</b>
QAI	Partículas suspensas no ar (PM <sub>10</sub> )
	Dióxido de carbono
	Monóxido de carbono
	Ozono
	Formaldeído
	COV
	Microorganismos
	Radão <sup>(1)</sup>
Conforto Térmico	Caudal de ar insuflado <sup>(2)</sup>
	Temperatura do Ar
	Humidade Relativa
	Velocidade do Ar

<sup>(1)</sup> Obrigatório apenas em edifícios construídos em zonas graníticas.

A ventilação natural é, no entanto, um processo que não depende apenas das condições no interior do edifício, mas também das condições atmosféricas que o envolvem. Assim sendo, a gestão das renovações de ar deve ter em conta os factores ambientais no exterior, pois estes podem contribuir de forma positiva ou negativa para a qualidade do ar nos edifícios. Apenas será possível efectuar um controlo adequado da ventilação natural considerando estes factores, o que implica a identificação dos que são relevantes neste processo.

Para além da temperatura e da humidade e do vento, será importante monitorizar os poluentes exteriores com maior impacte na degradação da QAI. Será assim importante controlar apenas aqueles que, geralmente, revelam maior concentração no exterior de edifícios. Neste caso, as partículas provenientes de veículos ou a produção de ozono, causada sobretudo nos períodos de maior incidência da luz solar, poderão representar

alguns riscos para a poluição do ar no interior, devendo ser impedida a sua admissão perante a ocorrência de elevadas concentrações dos mesmos no exterior.

A monitorização das condições ambientais no exterior do edifício implica assim o controlo dos factores apresentados na Tabela 3.

**Tabela 3 - Factores exteriores a monitorizar para garantir a ventilação adequada**

Ambiente exterior	Factores a monitorizar
Condições climáticas	Temperatura no exterior
	Humidade relativa
	Velocidade do vento
	Orientação do vento
Poluentes	PM <sub>10</sub>
	Ozono

O ruído é também um factor proveniente do exterior que pode limitar o recurso à ventilação natural. No entanto não exerce influência directa nos parâmetros de QAI e de conforto térmico, não sendo necessária a sua monitorização, pelo que a sua relevância é determinada pelos ocupantes.

Existem presentemente técnicas que permitem a determinação dos caudais de ar novo em sistemas de ventilação, baseadas sobretudo na técnica do gás traçador. Este é um método que permite avaliar a adequação da ventilação no edifício, através da injeção de um gás num espaço monozona, designado por gás traçador. O registo das concentrações de CO<sub>2</sub> pode ser útil nos casos em que o número de ocupantes é conhecido, podendo funcionar de forma semelhante ao método da injeção constante de gás traçador. Na secção 2.1.4 já foi mencionada a possibilidade de avaliar as taxas de ventilação através do nível da concentração de CO<sub>2</sub>. Na realidade esta é uma abordagem que é vulgarmente seguida através da utilização deste método.

A monitorização em tempo real de poluentes num espaço por forma a optimizar as taxas de ventilação deverá sobretudo ter em conta a variação das necessidades de ventilação decorrentes da ocupação do espaço. Um sistema de ventilação que realize a monitorização em tempo real de um poluente cuja fonte não se encontre directamente relacionada com a ocupação, encontra-se condicionado pela possibilidade de existência de uma fonte de elevadas emissões desse poluente. Uma fonte deste tipo deverá indiciar

algum problema, exigindo a necessidade de proceder ao seu tratamento, através da sua remoção, limpeza ou de outro tipo de solução. Considerando uma situação em que exista monitorização de uma fonte de poluentes deste género, a utilização da ventilação estaria constantemente condicionada até que fosse solucionado o problema.

Basicamente, a optimização das taxas de ventilação como um meio de controlo da QAI deverá sobretudo responder à evolução das exigências de ventilação proporcionada pela variação das taxas de ocupação, remetendo a responsabilidade de manutenção e controlo de outras fontes de poluentes para os ocupantes. Isto significa que um sistema de ventilação deverá acima de tudo responder às variações de CO<sub>2</sub>, utilizando este gás como indicador da QAI.

O facto de ser necessário controlar diversos factores, implica a utilização de diferentes tipos de equipamentos de medição. A utilização de sensores para a monitorização de todos os parâmetros traz vantagens relativamente à utilização de outro tipo de aparelhos, uma vez que estes podem ser integrados, de modo a ocuparem pouco espaço, desde que não apresentem consumos de energia significativos.

A definição do local exacto para a realização das amostragens deve ter em conta a presença de certos equipamentos e factores externos que se encontrem na zona e que possam distorcer os valores a controlar, como, por exemplo, a maquinaria, as zonas aquecidas directamente pelo sol ou por outras fontes consideráveis de radiação e os aparelhos a gás [9]. As zonas de maior ocupação serão, porventura, aquelas em que existe maior interesse em controlar estes factores, uma vez que estas serão as zonas em que se deverão garantir constantemente níveis adequados de QAI e de conforto térmico.

### 2.1.7. SUMÁRIO

Este capítulo contextualiza a ventilação natural no sector dos edifícios, seguindo uma abordagem que procura relacionar as suas potencialidades com os problemas de desempenho energético e de qualidade do ar.

Na secção 2.1.1 são apresentadas as limitações e potencialidades da ventilação natural, importantes para a abordagem a seguir no desenvolvimento do sistema, através da identificação de aspectos passíveis de serem melhorados e que deverão ser alvo de estudo de modo a potenciar a sua utilização.

A secção 2.1.2 apresenta os princípios associados aos fluxos de ar para os sistemas de ventilação unilateral e de ventilação cruzada, resultantes das diferentes disposições das aberturas nas fachadas do edifício.

As secções 2.1.3, 2.1.4 e 2.1.5 descrevem, respectivamente, a influência da ventilação natural nos consumos energéticos, na QAI e no conforto térmico dos edifícios. São ainda mencionadas as potencialidades do processo na obtenção de uma combinação adequada destes três parâmetros e descritos os formalismos associados à análise da QAI através do CO<sub>2</sub>.

É efectuada por fim uma abordagem geral aos métodos de monitorização da ventilação natural no âmbito desta dissertação na secção 2.1.6, através da definição dos factores interiores e exteriores a controlar e da identificação de limitações da utilização do equipamento e da definição das zonas para amostragem.

## 2.2. SOLUÇÕES TECNOLÓGICAS

Durante a análise efectuada foram evidenciadas as potencialidades da ventilação natural na regulação e controlo da qualidade do ar e no consumo energético dos edifícios. É imperial, sobretudo no contexto actual do sector energético, definir estratégias no sentido de fazer uso dessas potencialidades, nomeadamente através da concepção de sistemas mais eficientes.

A optimização das taxas de fluxo de ar admitidas pode ser efectuada através de sistemas que actuem directamente nas aberturas do edifício, nomeadamente janelas, portas e grelhas de ventilação, ou que suportem as acções dos ocupantes na gestão das mesmas.

A abordagem à criação de aplicações e ferramentas de suporte às acções é uma abordagem bastante semelhante à seguida pelos Sistemas de Apoio à Decisão (SAD). De facto, a metodologia seguida na concepção deste tipo de sistemas de informação (SI) será idêntica à seguida nesta dissertação.

As Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) revelam um elevado potencial de utilização em SAD, uma vez que é necessário processar a informação requerida para o processo de decisão e utilizar ferramentas de interacção com o decisor.

É um facto que o investimento no desenvolvimento das TIC já provou ter um impacto positivo no crescimento da economia e da produtividade, contudo a relação entre o investimento nas TIC e as obrigações energéticas, acaba por ser uma faca de dois gumes [14], uma vez que estas precisam de consumir energia eléctrica para funcionar. De certo modo, a aplicação das TIC neste tipo de sistemas implica gastar energia para poupar energia.

É por isso essencial encarar este problema do ponto de vista energético, através da utilização de equipamentos de baixo consumo e da poupança energética que poderá proporcionar ao substituir ou ser integrado com outros sistemas de climatização, e do ponto de vista da sua eficácia no controlo da qualidade do ar e na interacção com os ocupantes do edifício. A fiabilidade do sistema é muito dependente de uma boa conjugação de todos estes factores.

A arquitectura de um sistema de monitorização em tempo real implica a utilização de meios de medição para recolha dos dados, de SI responsáveis por integrar e processar a informação recolhida, assim como comandar e supervisionar os seus diversos elementos, e de redes de comunicações capazes de integrar toda a infra-estrutura. As limitações relacionadas com a complexidade das infra-estruturas e dos meios de transmissão de dados

não contribuem para a aceitação deste tipo de sistemas, pelo que é necessário arranjar formas de contornar ou adaptar o sistema às diferentes realidades dos edifícios.

É inevitável a associação do conceito de edifício inteligente nesta temática. As vantagens do estudo destes edifícios prendem-se essencialmente com os seguintes aspectos:

- Maior facilidade de implementação das infra-estruturas, nomeadamente sensores e redes de transmissão de dados, uma vez que são concebidos com o intuito de albergar sistemas e processos automatizados;
- Integração dos diferentes serviços e equipamentos, permitindo assim a permuta de informação potencialmente relevante com outros sistemas;
- Elevada capacidade de interacção com os ocupantes, através da disponibilização de *interfaces* mais intuitivos e práticos, utilizando ferramentas e dispositivos computacionais.

É possível distinguir dentro do conceito de edifício inteligente o conceito de casa inteligente. Uma casa inteligente é um espaço residencial ecológico e evoluído em termos de arquitectura e construção, com uma implantação de soluções integradas baseadas nas tecnologias da informação e oferecendo uma infra-estrutura tecnológica avançada que permite a quem nela habita usufruir de uma vasta gama de aplicações e serviços [15].

### 2.2.1. INTERNET

As tecnologias chave para a transmissão e gestão de redes inteligentes incluem telemédidas e telesistemas de controlo, direccionadas ao suporte de funcionalidades em vários sectores relacionados com medições em tempo real, análise, previsões e monitorização de operações [16].

Neste âmbito, a Internet tem actualmente um nível de capacidade que permite suportar uma grande variedade de novos e benéficos serviços de informação que podem assistir no desenvolvimento de redes inteligentes, ao fornecer dados em tempo real que permitem a integração de todos os elementos envolvidos na rede [16]. Aliando a este facto o seu baixo custo, a ampla difusão da informação e a utilização interactiva dos *interfaces Web*, é possível constatar as vantagens da Internet quando aplicadas em SI.

Como consequência, a montagem de canais de comunicação em tempo real com os utilizadores (via portais *Web*, ecrãs, hiperligações a programas para clientes, etc.) tem vindo a tornar-se prática comum. Deste modo, o uso da Internet como ferramenta de acesso à informação em tempo real pode permitir uma gestão muito mais prática e eficiente de todo o tipo de equipamentos e dispositivos.

## **2.2.2. GESTÃO TÉCNICA DE EDIFÍCIOS E DOMÓTICA**

### **2.2.2.1. Sistemas de Gestão Técnica**

O principal objectivo da gestão técnica é o de monitorizar e controlar os sistemas e equipamentos associados ao edifício. É considerada como uma “ferramenta” de exploração, de manutenção e de gestão [17].

A gestão técnica de edifícios encontra-se normalmente encarregada das questões de eficiência energética, de segurança, de controlo e monitorização, assim como de apresentar alertas e relatórios sobre os mesmos. Em termos mais objectivos será responsável por apresentar e implementar estratégias que passarão por:

- Melhorar o conforto dos ocupantes;
- Evitar que os sistemas estejam em funcionamento indevidamente;
- Assegurar que os serviços são fornecidos no nível correcto;
- Minimizar os requisitos de manutenção, dando preferência à manutenção preventiva em detrimento da reactiva;
- Reduzir o consumo energético e custos de operação e minimizar as emissões para a atmosfera [18].

Existem diversos sistemas associados à gestão técnica, nomeadamente os sistemas de AVAC, de iluminação, as instalações eléctricas, elevadores, escadas rolantes, centrais de bombagem, entre outros. As suas aplicações estão limitadas sobretudo aos edifícios de serviços, exceptuando o caso da Domótica. Assim, estes sistemas encontram-se sobretudo em escritórios, centros comerciais, centros de congressos, centros desportivos, edifícios governamentais, escolas e universidades, restaurantes, museus, bibliotecas, hotéis e hospitais [18].



### 2.2.2.2. Domótica

A Domótica é a aplicação simultânea da electricidade, da electrónica e das tecnologias da informação no ambiente residencial, permitindo realizar o controlo e a gestão local ou remota de uma habitação. Esta incide sobre quatro vectores fundamentais: a Energia, a Segurança, a Comunicação e o Conforto. A Tabela 4 resume algumas das aplicações da Domótica nessas áreas.

**Tabela 4 - Exemplos comuns de aplicações da Domótica [15]**

Área	Aplicações
Energia	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Controlo da iluminação (artificial e aproveitamento da luz natural)</li> <li>• Gestão dos sistemas de climatização;</li> <li>• Acesso remoto;</li> <li>• Gestão de consumos;</li> <li>• Controlo de janelas, estores e persianas;</li> <li>• Programação horária de dispositivos ou sistemas;</li> <li>• Controlo do sistema de rega;</li> <li>• Torneiras automáticas e com limitador de caudal;</li> </ul>
Segurança	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Detecção de fugas;</li> <li>• Detecção de intrusões, inundações, incêndio e fugas de gás;</li> </ul>
Comunicação	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Controlo remoto;</li> <li>• Telemetria;</li> <li>• Acesso ao correio electrónico e Internet;</li> </ul>
Conforto	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Controlo de cenários luminosos, som ambiente, e aquecimento;</li> <li>• Regulação automática da temperatura.</li> </ul>

Para conseguir tudo isto, a Domótica usa um conjunto de dispositivos que são distribuídos pela casa em função das necessidades dos proprietários. Basicamente, estes dispositivos podem dividir-se em sensores, actuadores, controladores, *interfaces* e outros dispositivos específicos, Tabela 5, e que constituem o que se designa por uma Rede Domótica [15].

**Tabela 5 - Dispositivos utilizados na Domótica [15]**

<b>Dispositivos</b>	<b>Função</b>
Sensores	Capturam valores e informações do local como presença de pessoas, temperatura, falta de energia, fugas de água ou gás, incêndio, luminosidade, tempo, vento, humidade, entre outros.
Actuadores	Realizam o controlo de elementos como electroválvulas (água e gás), motores (estores, portas, rega), ligar, desligar e variar a iluminação ou o aquecimento, ventilação ou o ar condicionado, sirenes de alarme, entre outros.
Controladores	Gerem a instalação e recebem a informação dos sensores transmitindo-a aos actuadores.
<i>Interface</i>	Transmitem informação para e de o utilizador, consoante normalmente de Painel, <i>Display</i> , TV, PC, PDA, <i>Webpad</i> , Consolas, Telefone, Telemóvel e Internet.
Dispositivos Específicos	Elementos necessários ao funcionamento do sistema como <i>Modems</i> , <i>Routers</i> ou <i>Gateways</i> que permitem o envio de informação entre os diversos meios de transmissão onde viaja a mensagem.

A escolha de um sistema de domótica deve ser feita tendo em conta diversos factores, de entre os quais a sua fiabilidade. Mas a escolha de um sistema deve também ser feita com base na sua capacidade para superar os requisitos actuais, admitindo desenvolvimentos futuros [19].

Os diversos subsistemas e funções disponíveis devem ser integrados para garantir a comunicação entre eles de modo a partilhar recursos e evitar duplicações.

O modo como são integrados esses subsistemas resulta em arquitecturas distintas do sistema, responsáveis por interligar os elementos que constituem a rede. Esta arquitectura poderá ser centralizada ou descentralizada.

A arquitectura centralizada é caracterizada por existir um elemento central, por onde é transmitida toda a informação relativa à rede. A principal vantagem deste tipo de arquitectura é o facto de tornar o sistema mais económico, ao retirar capacidade de processamento dos diversos dispositivos, centralizando somente num único dispositivo a capacidade de decisão.

A arquitectura descentralizada é caracterizada por não possuir nenhum dispositivo central, tornando-a mais flexível e menos susceptível à ocorrência de falhas na rede. Porém, na eventualidade de acontecerem, esta permitirá detectar a falha e impedir o funcionamento dos dispositivos afectados, não interferindo com os restantes [20].

A comunicação entre subsistemas e equipamentos é feita através de protocolos de comunicação, existindo os designados Protocolos Abertos, como por exemplo o EIB/KNX e o X10, cuja caracterização técnica é definida por órgãos internacionais de normalização, e os Protocolos Proprietários ou Fechados, que se caracterizam por linguagens de comunicação exclusivas dos fabricantes [19].

### **2.2.3. SENSORES E TECNOLOGIA *WIRELESS***

#### **2.2.3.1. Sensores**

É possível observar actualmente um desenvolvimento de vários equipamentos inteligentes de monitorização que fornecem informação ao utilizador sobre os mais diversos tipos de parâmetros. De entre os vários equipamentos desenvolvidos, a maioria diz respeito a sensores para monitorização remota e medições precisas que suportam aplicações tradicionais e inovadoras [16].

Actualmente, a maior parte dos sensores utilizados em edifícios estão essencialmente relacionados com questões de segurança, sobretudo para detecção de intrusão ou incêndio, ou medição de consumos de energia.

A automatização de processos em edifícios, particularmente nas habitações, é um grande problema para a construção actual devido essencialmente a dois factores. O primeiro prende-se com o custo elevado, essencialmente ligado aos sensores e controladores, que comportam custos de aquisição e de funcionamento, uma vez que necessitam de energia. Já o segundo tem a ver com o método de construção do edifício, particularmente com a forma como estão projectadas as suas paredes. Dependendo desse factor, pode ser impossível implementar a instalação, no caso de o edifício não estar preparado para a introdução de todos os sensores e cablagem associada. Também é verdade que as questões de instalação ganham menos relevo em edifícios já pensados para conter processos automatizados, como nas habitações com sistemas de domótica.

Uma das formas de contornar o problema da instalação dos equipamentos é a aplicação de sistemas *wireless*. Isso deve-se ao facto de a tecnologia *wireless* permitir uma rápida e fácil instalação, dispensando a implantação de uma infra-estrutura dispendiosa [21].

É comum ter num único *chip*, ou módulo, vários sensores controlados pela lógica do circuito integrado, com uma *interface* de comunicação sem fio. Normalmente o termo “sensor inteligente” é aplicado ao *chip* que contém um ou mais sensores com capacidade de processamento de sinais e comunicação de dados [22]. Deste modo, na automação de edifícios a aplicação dos módulos de comunicação dos sensores são uma excelente ferramenta, especialmente no *retrofitting* de instalações [21].

O funcionamento desta tecnologia consiste na implementação de um módulo emissor, que é responsável por enviar os dados para um módulo receptor, ligado à unidade de processamento [23].

As características físicas deste módulo devem permitir a sua adequação ao ambiente a que se destinam. Estas passarão por:

- Um reduzido consumo de energia (ao qual estará também associada uma baixa complexidade), especialmente tendo em vista uma elevada autonomia nos casos em que a alimentação se efectue por bateria;
- Pequenas dimensões, para permitir um flexível acoplamento aos distintos sensores e elementos de medição, assim como o seu transporte;
- Baixa dependência das condições em que se encontra e possibilidade de serem integrados em invólucro estanque, não criando assim restrições à sua utilização;
- Adequação de *interface*, no sentido de que é desejável que seja ampla a capacidade de interligação a diferentes dispositivos, isto é, que o *interface* disponibilizado seja adequado à sua área de aplicação;
- Preço comportável, em conformidade com as funções a executar.

No caso do “módulo central” de recepção da informação, poderá admitir-se uma maior complexidade, estando sujeito a menores restrições de consumo e dimensões, uma vez que previsivelmente estará sujeito a uma instalação fixa, ligado a um computador, e alimentado à rede [23].

#### **2.2.3.2. Tecnologias Wireless**

As tecnologias sem fios actualmente disponíveis centram-se normalmente no *Wi-Fi*, *Bluetooth* e *ZigBee*. O *Wi-Fi* é um protocolo orientado para aplicações que requeiram um elevado débito, tais como a transferência de ficheiros ou o acesso à Internet e a conteúdos multimédia. Por outro lado, o seu consumo energético, especialmente quando em *standby*,

é claramente superior ao das outras tecnologias [23]. Não será portanto a tecnologia mais propícia para a comunicação da informação entre módulos, uma vez que se requerem baixos consumos e não são exigidas taxas de transferência de informação muito elevadas.

A Tabela 6 apresenta a comparação das características mais relevantes das tecnologias *Bluetooth* e *ZigBee*.

**Tabela 6 - Comparação das tecnologias sem fio Bluetooth e ZigBee [23]**

<b>Especificação</b>	<b>Taxa de transferência</b>	<b>Duração das baterias (dias)</b>	<b>Alcance (m)</b>
<i>Bluetooth</i>	1Mbps	1 a 7	1 a 10
<i>ZigBee</i>	250Kbps	100 a 1000	100

Importa ainda referir os principais pontos de distinção entre as duas tecnologias, de modo a poder efectuar uma análise mais precisa no processo de escolha das mesmas.

### ***ZigBee***

- *Duty cycle* (ciclo de trabalho) muito baixo e suporte para dispositivos de funções reduzidas (minimizando o consumo), possibilitando elevada autonomia quando alimentados por baterias;
- Suporte a topologias de rede estáticas e dinâmicas, quer em estrela quer em malha;
- Capacidade para permanecer longos períodos sem comunicação;
- Permite a utilização de redes com mais de 65.000 nós, procurando garantir sempre baixa latência;
- Uso de *Direct Sequence Spread Spectrum* permite que os dispositivos permaneçam em “*sleep-mode*” sem necessidade exigente de sincronização;

### ***Bluetooth***

- *Duty cycle* moderado (não tão elevado como no *Wi-Fi*), mas com consumo idêntico para qualquer tipo de dispositivo interveniente na rede;
- Elevada qualidade do serviço;
- Redes quase estáticas de topologia em estrela e com um máximo previsto de 7 clientes;

- O recurso ao *Frequency Hope Spread Spectrum* implica que seja extremamente difícil a criação de redes extensas e sem custos elevados em termos de sincronização.

#### **2.2.3.3. Sensores *Fraunhofer***

Existem actualmente desenvolvimentos muito interessantes nesta área, nomeadamente com o surgimento de um tipo de sensores *wireless*, desenvolvidos pelo Instituto *Fraunhofer* de Engenharia de *Softwares* e Sistemas (ISST), implementados no fecho da janela, e que são alimentados por ondas de rádio provenientes do ambiente no edifício. Isso significa que não é necessário fornecer energia para o seu funcionamento, o que se traduz em consumos reduzidos.

Basicamente, estes sensores são capazes de detectar a posição do fecho da janela, interpretando dessa forma se está aberta ou fechada.

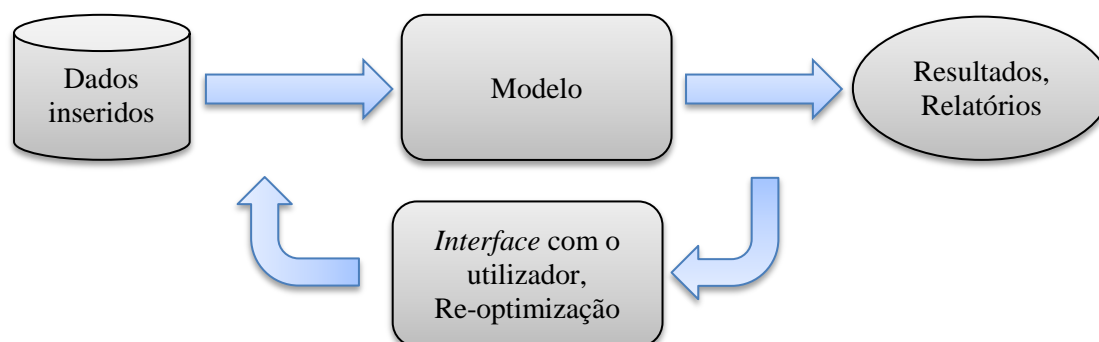
O acesso aos dados é efectuado por um controlador que possui ainda a capacidade de fornecer energia por meio das ondas de rádio e transmitir as informações directamente ao utilizador, enviando-as para um *software* que pode ser acedido através de um dispositivo com acesso à Internet.

No contexto do sistema desenvolvido na dissertação a implementação deste tipo de sensores revela um potencial muito interessante, atendendo às reduções de consumo energético. Além disso, este Instituto está agora a investigar a implementação de sensores deste género noutras aplicações, pelo que tudo indica que os problemas associados com o consumo de energia destes equipamentos sejam cada vez menos um factor impeditivo para a sua utilização.

#### **2.2.4. SISTEMAS DE APOIO À DECISÃO**

Um SAD é um tipo específico de SI. São sistemas interactivos, baseados em computadores, que têm como objectivo principal ajudar os decisores a utilizar dados e modelos para identificar e resolver problemas, assim como a tomar decisões.

Os SAD funcionam como modelos e algoritmos informatizados responsáveis por efectuar estimativas com base num determinado número de variáveis e, através dessas estimativas, avaliar o peso de cada uma das alternativas inerentes a qualquer processo de decisão. A Figura 10 apresenta um esquema com os princípios básicos deste processo.



**Figura 10: Esquema de funcionamento de um SAD**

Os benefícios da sua utilização no processo de tomada de decisão, prendem-se com o alargamento da possibilidade do decisor para processar mais informação e conhecimento, bem como contornar problemas grandes, complexos e demorados, para além de reduzir o tempo de resposta da tomada de decisão [24].

Os SAD tornam normalmente o processo de decisão mais eficaz, não podendo, contudo, superar ou prever as acções de um fraco decisor. O utilizador é que deve controlar todo o processo, devendo assim possuir conhecimento avançado de utilizar um SAD, que SAD usar, e o mais importante, qual o grau de dependência em relação aos *outputs* e à informação obtida [24].

Existem diversos tipos de SAD, podendo estes estar mais orientados para a recuperação e análise de dados, para modelos de optimização e simulação ou ainda para integrar dados e modelos.

A aplicação de SAD pode abranger todo o tipo de áreas de conhecimento, desde gestão, finanças, medicina, engenharia, entre muitas outras, desde que exista a necessidade de criar ferramentas de optimização dos processos de decisão.

### 2.2.5. SUMÁRIO

A abordagem às soluções tecnológicas efectuada neste capítulo é feita com base nos objectivos do sistema que se pretende desenvolver.

O facto de se pretender otimizar os processos de ventilação natural controlando e suportando as acções de manuseamento das aberturas dos edifícios, aponta para a necessidade de recorrer a tecnologias capazes de obter informação em tempo real das condições ambientais no exterior e no interior e de proceder ao seu tratamento, comunicando toda essa informação aos ocupantes do edifício. Isto remete para o estudo das TIC, que permitem acesso facilitado à informação, servindo como um meio complementar aos actuais SI.

A Internet surge como um meio de comunicação com os ocupantes, através do desenvolvimento de *interfaces Web* onde é possível aceder à informação em qualquer altura, através, por exemplo, de portais *Web*, e com uma grande potencialidade de suporte aos SI. Além disso, as aplicações *Web* permitem o desenvolvimento de ferramentas mais interactivas e uma maior comunicação entre o utilizador e o serviço.

A tipologia dos edifícios e casas inteligentes favorece a implementação e manutenção de sistemas automatizados, na medida em que estes sistemas estão normalmente na base da sua construção, para além de apresentarem potencialidades na integração com outros equipamentos ligados à rede e a possibilidade de utilização de dispositivos de *interface* mais práticos e acessíveis, proporcionando maior interacção com os ocupantes.

A utilização da tecnologia *wireless* facilita a instalação dos componentes de um sistema de monitorização, sobretudo no que respeita aos sensores. Além disso, os desenvolvimentos registados com a criação de sensores alimentados por ondas de rádio, abrem cada vez melhores perspectivas para estes sistemas, na medida em que contribuirão bastante para a redução de consumos energéticos. É de atender ainda ao facto de que esses sensores permitem interpretar a posição da janela, pelo que possuem um grande potencial de aplicação no sistema a desenvolver.

Os SI agregam os equipamentos de monitorização e o *software* de processamento dos dados, podendo estes funcionar em tempo real. Dentro dos SI, a realização do estudo dos SAD permite abordar as metodologias e procedimentos ligados ao processo de decisão auxiliado por ferramentas computacionais. Assim, o desenvolvimento de modelos de optimização e de análise de dados são aspectos fundamentais no processo de decisão e que terão muita importância na eficácia do sistema a desenvolver no âmbito desta dissertação.



## **CAPÍTULO 3**

### **METODOLOGIA E MODELO DE DECISÃO**

O sistema a desenvolver consiste, sobretudo, na criação de ferramentas integradas capazes de suportar as acções dos ocupantes na gestão da ventilação natural dos edifícios, nomeadamente através da abertura e fecho das janelas, com vista à optimização das taxas de fluxo de ar admitidas.

A concepção do sistema passa pela definição de objectivos a concretizar por cada uma das etapas do seu funcionamento. Isto permite uma análise às tecnologias e estratégias disponíveis de forma a atingir eficientemente cada um desses objectivos. Além disso, a estruturação do sistema em diferentes etapas permite uma análise mais focalizada e detalhada a cada um dos subsistemas em que este se decompõe e à forma como estes se agregam.

A adaptabilidade do sistema ao edifício será objecto de estudo, uma vez que existem factores, nomeadamente custos de aquisição e manutenção, a possibilidade de integração com outros sistemas ou a complexidade das suas infra-estruturas, que poderão representar vantagens ou desvantagens conforme o tipo de edifício onde se pretende implementá-lo.

#### **3.1. AQUISIÇÃO DE DADOS**

##### **3.1.1. MÉTODO DE AQUISIÇÃO DOS DADOS**

O funcionamento do sistema é totalmente dependente da arquitectura do edifício, da distribuição das aberturas nas fachadas e do clima no local, o que deverá ser tido em conta na sua implementação. É importante deste modo adoptar procedimentos no sentido de perceber como circula o escoamento do ar admitido pelas aberturas e o seu efeito na qualidade do ar no espaço ventilado, bem como conhecer as zonas de maior ocupação ou em que se pretendem permanentemente níveis adequados de QAI e de conforto térmico. O

diagnóstico resultante destes procedimentos permite identificar os locais mais susceptíveis a serem controlados.

Conforme este diagnóstico, pode ser possível localizar mais do que um espaço monozona em que seja necessário ou recomendado assegurar bons níveis de qualidade do ar, através da implementação do sistema. Isto significa que um edifício pode conter diversos espaços a monitorizar.

Um espaço ventilado por uma abertura consiste numa zona cuja ventilação seja assegurada pelas taxas de fluxo de ar admitidas por essa mesma abertura. No caso de um espaço ventilado por duas ou mais aberturas localizadas na mesma fachada, será necessário apenas garantir a monitorização dos parâmetros exteriores associados a essa mesma fachada e aplica-se a recomendação do sistema para todas essas aberturas.

Serão apenas consideradas as transmissões *wireless*, pois permitem simplificar a implantação da instalação. Da análise da Tabela 6, juntamente com a comparação entre as tecnologias *ZigBee* e *Bluetooth*, na secção 2.2.3 da presente dissertação, é possível concluir que a tecnologia *ZigBee* apresenta características mais interessantes ao nível do consumo energético, com taxas de transferências bastante aceitáveis, tendo em conta as necessidades do sistema a desenvolver, e com um bom alcance para aplicação em edifícios. Recomenda-se assim a utilização deste tipo de tecnologia para a comunicação dos dados.

Uma vez definidos os espaços a controlar é determinante proceder à introdução dos sensores que deverão efectuar leituras em tempo real dos factores internos, e enviar os dados obtidos para uma base de dados, disponível num computador.

No que respeita aos dados relativos aos factores externos existem duas hipóteses de proceder à sua recolha.

A primeira hipótese será o sistema aceder aos dados climáticos e de qualidade do ar recolhidos por uma estação meteorológica presente no edifício. A outra hipótese será aceder a dados disponibilizados em tempo real por uma rede meteorológica presente na região.

Se por um lado o recurso à segunda hipótese é condicionado pela existência ou não da rede meteorológica na zona e pela menor precisão dos resultados, por outro lado apresenta vantagens ao nível dos custos associados.

#### 3.1.2. DADOS A MONITORIZAR

Na Tabela 7 encontram-se todos os dados relevantes para o sistema, que devem ser recolhidos pelos equipamentos de monitorização e guardados na base de dados, por cada um dos espaços que se pretende monitorizar.

Para avaliação da QAI, pretende-se apenas que o sistema considere as necessidades de ventilação decorrentes da variação das taxas de ocupação dos espaços monitorizados, pelo que só deverão ser analisadas as concentrações de CO<sub>2</sub>.

A velocidade do ar no interior não será monitorizada, juntamente com o vento, devido a serem factores para os quais existe normalmente maior sensibilidade humana e, desse modo, mais susceptíveis a serem controlados pelos ocupantes.

**Tabela 7 - Dados a monitorizar pelo sistema**

<b>QAI</b>	<b>Concentração de CO<sub>2</sub></b>
<b>Conforto Térmico</b>	Temperatura Ambiente do Espaço
	Humidade Relativa
<b>Condições exteriores</b>	Temperatura no exterior
	Humidade Relativa
	Concentração de PM <sub>10</sub>
	Concentração de ozono
<b>Estado da Janela (Aberta/Fechada)</b>	

Os dados monitorizados pelo sistema implicam o conhecimento das condições no exterior e no interior, justificando assim a introdução de equipamentos de medição de parâmetros dentro do espaço a ventilar e no exterior da fachada onde se encontra a janela. Existe ainda a necessidade de utilizar um módulo central para a recepção dos dados provenientes do interior e do exterior, bem como do controlador associado ao sensor que detecta o estado da janela.

Para o reconhecimento do estado da janela o ideal seria implementar o sensor desenvolvido pelo ISST, pois apresenta as vantagens já mencionadas durante a secção 2.2.3.

## **3.2. PROCESSO DE DECISÃO**

### **3.2.1. APLICAÇÃO DESENVOLVIDA**

Após a aquisição dos dados, é necessário o acesso permanente à base de dados, desenvolvida em *MySQL*, de modo a proceder ao tratamento da informação em tempo real.

Para isso foi necessário desenvolver uma aplicação, em *Visual Basic .NET*, que efectue uma análise a todos os parâmetros relativos à QAI e ao conforto térmico, bem como às condições ambientais no exterior do edifício e, utilizando um modelo de decisão, decida se estão reunidas as condições para actuar sobre as aberturas do edifício, recomendando a abertura ou fecho da janela.

O modelo de decisão é fundamental para a fiabilidade do sistema, pois é este que permite definir prioridades, no sentido em que existem muitas variáveis em análise e umas serão mais importantes do que outras para o processo de decisão. Assim, este procurará conjugar eficientemente todas essas variáveis, conforme a sua influência, efectuando assim uma estimativa sustentada que optimiza e facilita as decisões do ocupante.

### **3.2.2. MODELO DE DECISÃO**

Para a concepção do modelo em que o sistema se baseia na decisão de abrir ou fechar a janela, é necessário estruturar e priorizar todos os parâmetros monitorizados.

Deste modo, é conveniente definir passo a passo todo o processo que vai desde o conhecimento dos parâmetros actuais até à tomada de decisão final.

#### **1) Verificar estado corrente da janela.**

Como já foi referenciado, o processo de ventilação é muito importante na renovação do ar em todos os edifícios. No caso de não ser promovida a ventilação suficiente, é muito provável a ocorrência de níveis muito elevados de humidade do ar e de substâncias poluentes, resultando assim numa pobre QAI.

- a) A situação em que a janela se encontra fechada provoca, ao fim de algum tempo, níveis desadequados de QAI e de conforto térmico, pelo que será necessário, mais cedo ao mesmo tarde, promover o processo de ventilação. A menos que se verifiquem condições exteriores adversas, deve-se neste caso priorizar a análise das condições no interior do edifício e verificar quando será necessário proceder à sua abertura.

- b) Já na situação em que a janela se encontra aberta, deve-se dar prioridade à análise das condições climáticas, pois é possível que contribuam para degradar a qualidade do ar.

#### **2) Definição das condições de referência**

Após conhecer o estado da janela é necessário definir as condições limite para cada parâmetro que se pretende controlar.

O estabelecimento de condições de referência por parte dos regulamentos relacionados com o desempenho energético dos edifícios, contribui para a definição dos valores limite aceitáveis para a QAI e para o conforto térmico nos edifícios.

No âmbito da aplicação desenvolvida nesta dissertação serão consideradas as condições estabelecidas pelo RSECE e pelo RCCTE, podendo, no entanto, existir a hipótese de adaptar o sistema às condições definidas por outros regulamentos.

- a) Assim, a concentração máxima considerada para o CO<sub>2</sub> é a estabelecida pelo RSECE e as condições de conforto térmico são as estabelecidas no RCCTE, apresentadas na Tabela A.1 e na Tabela A.3 do Anexo A, respectivamente.
- b) A definição dos períodos relativos à estação de aquecimento e arrefecimento vai de encontro à estabelecida pelo RCCTE. Assim, para a estação de aquecimento, a aplicação deverá ser capaz de determinar automaticamente a média diária da temperatura no exterior entre os meses de Outubro e de Maio. Entre o primeiro e último decêndios desse período em que a média for inferior a 15°C são utilizadas as condições de conforto referentes a essa estação. A aplicação das condições referentes à estação de arrefecimento é efectuada para os meses de Junho, Julho, Agosto e Setembro.
- c) A acção térmica só promove uma ventilação natural eficaz quando o gradiente entre a temperatura média no interior do edifício e a temperatura exterior for superior a 8°C. Nos restantes períodos do ano admite-se que seja a acção do vento a garantir, em regra, a renovação do ar no interior dos edifícios [25]. Deste modo, o sistema considera que o ar exterior promove arrefecimento ou aquecimento do ar no interior quando a diferença de temperaturas for superior a 8°C.

### **3) Avaliação dos parâmetros**

A partir das condições de referência o sistema deverá analisar se os parâmetros respeitam as condições limite e, no caso de não respeitarem, deve verificar se estão reunidas condições para alterar o estado da janela.

#### ***3.1) Avaliação das condições no interior***

É possível efectuar uma análise separada para a QAI e para o conforto térmico, sendo que, em cada instante, quatro situações diferentes podem ocorrer.

- a) Níveis de QAI e conforto térmico desadequados.
- b) Níveis de QAI e conforto térmico aceitáveis.
- c) Nível de QAI aceitável e conforto térmico desadequado.
- d) Nível de QAI desadequado e conforto térmico aceitável.

É importante, desde logo, que o sistema execute uma distinção objectiva entre níveis bons, níveis moderados, níveis fracos e níveis maus de QAI e de conforto térmico.

Para isso foi realizada uma pesquisa de modo a perceber quais as gamas de valores associadas à concentração de CO<sub>2</sub> e à humidade relativa do ar que induzem níveis aceitáveis ou maus, uma vez que as condições de referência para estes parâmetros não chegam para efectuar uma distinção muito precisa entre o adequado e o desadequado.

Vários estudos levados a cabo em edifícios com sistemas de ventilação mecânica para diferentes taxas de ocupação indicaram que concentrações de dióxido de carbono acima dos 1000 ppm, aproximadamente 1800 mg/m<sup>3</sup>, eram indicativas de um fornecimento inadequado de ar fresco, tendo-se ainda documentado queixas, por parte dos ocupantes, a concentrações iguais ou superiores a 600 ppm [11], ou seja, aproximadamente 1100 mg/m<sup>3</sup>. Assim, é bastante razoável afirmar que, quando a concentração de CO<sub>2</sub> é superior a este valor, os níveis de QAI serão desadequados e ainda, que, se ultrapassarem os 1800 mg/m<sup>3</sup>, esses níveis serão bastante maus.

Para efeitos de avaliação de conforto térmico, o modelo utilizado, para além das condições de referência definidas pelo RCCTE, considera os níveis recomendados pela norma ASHRAE 55-2004 para projectos de construção, presentes na secção 2.1.5 desta dissertação. A adaptação do modelo a um clima local específico não é considerada, uma vez que se pretende que este se adapte a condições genéricas de aceitação de conforto térmico.

A humidade relativa apresenta um valor de referência apenas para a estação de arrefecimento. Nos projectos de construção são normalmente apontados valores aceitáveis

como valores que rondam os 40 a 60% para este parâmetro [26]. Isto implica que sejam considerados desadequados níveis que não estejam dentro dessa gama.

A partir desta pesquisa e da análise às condições de referência, foi elaborada a Tabela 8, onde se apresenta a forma como o sistema avalia os níveis de QAI e de conforto térmico.

**Tabela 8 - Avaliação do nível de QAI e de conforto térmico**

Parâmetro	Condições verificadas	Nível
QAI	- Concentração de CO <sub>2</sub> inferior a 50% da concentração máxima de referência;	Bom
	- Concentração de CO <sub>2</sub> entre 50% e 60% da concentração máxima de referência;	Moderado
	- Concentração de CO <sub>2</sub> entre 60% e a concentração máxima de referência;	Fraco
	- Concentração de CO <sub>2</sub> acima da concentração máxima de referência;	Mau
Conforto térmico	- Variação máxima de 10% relativamente às condições de referência para a temperatura e humidade do ar no interior;	Bom
	- Variação de 10 a 20% relativamente às condições de referência para a temperatura ou humidade do ar no interior;	Moderado
	- Variação de 20% a 30% relativamente às condições de referência para a temperatura ou humidade do ar no interior;	Fraco
	- Variação superior a 30% relativamente às condições de referência para a temperatura ou humidade do ar no interior;	Mau

A definição do nível da QAI e de conforto térmico irá servir como base para o sistema perceber as necessidades efectivas de ventilação. Dentro dessa distinção, este considerará como aceitável os níveis “Bom” e “Moderado” e como desadequado os níveis “Fraco” e “Mau”.

Por exemplo, no caso de ocorrer a situação a) supõe-se à partida que o sistema procurará garantir a ventilação do espaço, aconselhando o ocupante a abrir a janela. No entanto, o peso atribuído aos níveis “Mau” e “Fraco” no processo de decisão serão distintos, podendo assim existir a possibilidade dele aconselhar o ocupante a manter a janela fechada. Isto poderá acontecer no caso em que as condições no exterior sejam pouco propícias para a abertura da janela, podendo assim o sistema aconselhar o ocupante a

manter a janela fechada perante o nível “Fraco”, mas perante o nível “Mau” aconselhe a abri-la. Basicamente, o que se pretende com isto é fazer a distinção entre situações em que a qualidade do ar é demasiado fraca, tornando urgente a promoção de ventilação, independentemente das condições exteriores, e situações em que, apesar de a qualidade do ar não ser aceitável, não causará efeitos graves em termos da saúde e do conforto dos ocupantes.

Tomando agora como exemplo a situação b), é razoável assumir que o sistema não deverá aconselhar o ocupante a abrir a janela, uma vez que a qualidade do ar é adequada. No entanto, o facto de os níveis “Bom” e “Moderado” terem pesos diferentes, poderá resultar em decisões diferentes por parte do sistema, caso as condições no exterior possam ser benéficas para os parâmetros de QAI e conforto térmico. Isto significa que, na ocorrência desta situação, o sistema poderá considerar que, apesar das condições interiores serem aceitáveis, a promoção da ventilação, através da abertura da janela, poderá servir para melhorar ou manter o nível “Moderado”, mas pode não considerar que essas mesmas condições sirvam para manter o nível “Bom”.

A situação c) é talvez a situação em que é mais intuitivo o processo de decisão. Basta pensar que o processo de ventilação natural só tem consequências negativas na QAI durante a ocorrência de casos muito específicos em que a concentração de poluentes no exterior é muito elevada. Assim, a aplicação apenas precisará de analisar se as condições no exterior do edifício são propícias para a melhoria do nível de conforto térmico e, em caso positivo, sugerir a abertura da janela.

Na possibilidade de ocorrer a situação d) o processo de decisão poderá ser algo complexo, uma vez que é possível que ao promover a ventilação natural o sistema esteja a degradar as condições de conforto térmico de modo a melhorar a QAI. Em casos extremos, a abertura da janela nesta situação, pode levar a que tanto os níveis de QAI como os níveis de conforto térmico sejam desadequados. No entanto, na ocorrência desta situação, o sistema concebido irá actuar de modo a tentar melhorar a QAI, exceptuando casos em que se verifiquem condições climáticas muito adversas ou altas concentrações de poluentes no exterior, independentemente dos efeitos negativos no conforto térmico. Desta maneira, procura-se evitar a degradação da QAI, uma vez que é o parâmetro mais afectado pela insuficiente ventilação.



#### ***3.2) Avaliação das condições no exterior***

Perante a análise efectuada para os parâmetros interiores é possível constatar que o sistema, para além de avaliar os níveis de QAI e de conforto térmico, será ainda obrigado a avaliar o estado das condições atmosféricas, uma vez que estas têm obviamente uma importância bastante grande no processo de decisão, sobretudo quando a janela se encontra aberta, como já foi referido.

A não-existência de condições de referência para o ambiente no exterior torna, no entanto, a sua avaliação menos objectiva e, por outro lado, mais dependente da actuação e percepção dos ocupantes perante as mesmas. Não obstante esse facto, é possível conceber um modelo que efectue uma distinção automática entre condições favoráveis e condições desfavoráveis.

Existem situações em que será fácil reconhecer condições adversas, nomeadamente através da utilização de detectores de fumo, chuva ou de vento forte. Do mesmo modo, é também evidente que quando os parâmetros monitorizados se encontram de acordo com os parâmetros de referência para o interior dos edifícios, nomeadamente na temperatura e na humidade, o sistema pode considerar que as condições do exterior são boas. O mesmo já não se pode dizer de outras situações.

No que respeita à temperatura, já foi mencionada a consideração de que para o processo de ventilação natural promover aquecimento ou arrefecimento significativos do espaço a diferença entre as temperaturas exterior ( $T_{ext}$ ) e interior ( $T_{int}$ ) tem de ser de pelo menos 8°C. Assim, o sistema considera apenas dois casos em que este factor tem influência negativa no interior. Um deles será quando se verifica que a diferença de temperaturas interior e exterior é menor que 8°C e a temperatura interior é menor que a temperatura de referência ( $T_{REF}$ ), pois isto iria induzir escoamentos de ar frio que iriam baixar ainda mais essa temperatura. O outro caso ocorrerá quando a temperatura interior é maior que a temperatura de referência e a temperatura exterior for superior em pelo menos 8°C, relativamente à temperatura interior, o que provocaria um aquecimento ainda maior do espaço. Em situações opostas, ou seja, num caso em que a temperatura interior seja maior que a de referência e pelo menos 8°C superior à temperatura exterior, ou num caso em que a temperatura interior é inferior à de referência e pelo menos 8°C inferior à exterior, este parâmetro contribuirá positivamente para o bom nível das condições exteriores.

As concentrações de PM<sub>10</sub> e de ozono são consideradas razoáveis quando excedem os valores de protecção humana para o ambiente exterior, definidos em Portugal no Decreto-lei nº111/2002, e desfavoráveis quando excedem os valores máximos de referência no interior de edifícios, definidos pelo RSECE.

Na avaliação das condições no exterior são atribuídos três níveis diferentes, podendo eles ser “Favorável”, “Neutro” ou “Desfavorável”. Na Tabela 9 encontram-se apresentadas as condições que determinam a atribuição dos diferentes níveis.

**Tabela 9 - Avaliação das condições no exterior**

<b>Condições verificadas</b>	<b>Nível</b>
- Diferença entre T <sub>Int</sub> e T <sub>Ext</sub> maior que 8°C e T <sub>Int</sub> >T <sub>REF</sub> +/- 5% ou - Diferença entre T <sub>Ext</sub> e T <sub>Int</sub> maior que 8°C e T <sub>Int</sub> <T <sub>REF</sub> +/- 5% e - T <sub>Ext</sub> >10°C e T <sub>Ext</sub> <34°C e - Humidade relativa entre 40% e 60% e - Concentração de PM <sub>10</sub> e Ozono menor que o valor limite de concentração para protecção da saúde humana.	Favorável
- Não se verifiquem temperaturas favoráveis ou desfavoráveis ou - Humidade relativa entre 30% e 40% ou entre 60% e 70%; ou - Concentração de PM <sub>10</sub> e Ozono maior que o valor limite de concentração para protecção da saúde humana e menor que valor máximo de referência para o interior de edifícios.	Neutro
- Diferença entre T <sub>Int</sub> e T <sub>Ext</sub> maior que 8°C e T <sub>Int</sub> <T <sub>REF</sub> ou - Diferença entre T <sub>Ext</sub> e T <sub>Int</sub> maior que 8°C e T <sub>Int</sub> >T <sub>REF</sub> ou - T <sub>Ext</sub> <10°C ou T <sub>Ext</sub> >34°C ou - Humidade relativa menor que 30% ou maior que 70% ou - Concentração de PM <sub>10</sub> e Ozono maior que o valor máximo de referência para o interior de edifícios.	Desfavorável

#### **4) Definição do processo de decisão**

A avaliação dos parâmetros permite ao sistema perceber até que ponto estes apresentam níveis adequados e até que ponto é necessário abrir ou fechar uma janela. O processo de tomada de decisão deve ter em conta a avaliação efectuada, uma vez que esta serve de base para a tomada de decisão final.

Ao longo da explicação do modelo foram sendo esclarecidos os princípios e considerações que estiveram na base de cada passo do seu desenvolvimento e

exemplificadas algumas situações específicas, por forma a fundamentar todo este processo. Apesar de em alguns desses exemplos serem estimadas as decisões do sistema, o processo de decisão tem de ser objectivo, o que implica definir para cada situação possível qual a decisão a tomar pelo sistema.

Para esse efeito é utilizado um método de cálculo em que são atribuídos pesos diferentes a cada um dos níveis avaliados, isto é, cada um dos níveis tem uma importância diferente no resultado final. Além disso o modelo considera ainda que o peso da QAI no processo de decisão é o dobro do peso do conforto térmico, exceptuando o caso em que o nível de conforto térmico é “Mau”, pois a ventilação induz variações mais acentuadas no primeiro do que no segundo e os ocupantes possuem geralmente maior percepção e controlo dos níveis de conforto térmico.

Os valores relativos ao peso de cada um dos níveis de avaliação encontram-se apresentados na Tabela 10. Estes valores foram sendo atribuídos até se verificar uma base lógica nos resultados obtidos para todas as situações.

**Tabela 10 - Peso atribuído a cada parâmetro**

Parâmetro	Nível	Valor atribuído (Peso)	Nomenclatura
QAI	Bom	0	$P_{QAI}$
	Moderado	2	
	Fraco	4	
	Mau	6	
Conforto Térmico	Bom	0	$P_{CT}$
	Moderado	1	
	Fraco	2	
	Mau	4	
Condições Exteriores	Favorável	6	$P_{Ext}$
	Neutro	3	
	Desfavorável	0	

A atribuição dos pesos de cada um dos níveis avaliados permite utilizar um método de cálculo que pondere objectivamente a decisão do sistema. Neste caso esse método

corresponde a uma soma ponderada desses pesos. A decisão é assim tomada com base no valor obtido pela seguinte equação:

$$\text{Decisão} = P_{\text{QAI}} + P_{\text{CT}} + P_{\text{Ext}} \quad (7)$$

Dependendo do resultado da equação (7) o programa recomenda a abertura ou o fecho da janela. A definição dos resultados cujo sistema associa à abertura e ao fecho da janela baseou-se na análise resultante da aplicação da equação para cada uma das situações possíveis, podendo estes ser verificados na Tabela 11.

**Tabela 11 - Resultados associado ao processo de decisão**

<b>Resultado Decisão, Equação (7)</b>	<b>Estado recomendado</b>
0-6	Janela Fechada
7	Indiferente
8-15	Janela Aberta

Para melhor entender este processo de decisão são aqui apresentados e analisados exemplos para três situações diferentes.

***a) Nível de QAI “Bom”, nível de conforto térmico “Bom” e nível das condições exteriores “Desfavorável”.***

Esta situação, embora possa não ser muito frequente, é muito intuitiva para o ser humano, após conhecer a avaliação realizada pelo sistema para cada nível. Se existem bons níveis de conforto térmico e de QAI e as condições no exterior são desfavoráveis, obviamente que o sistema deverá recomendar o fecho da janela de modo a não degradar os parâmetros interiores.

Neste caso, o primeiro passo é analisar a Tabela 10 e retirar o peso atribuído ao nível de cada um dos parâmetros. Assim, a uma QAI “Boa” corresponde um peso ( $P_{\text{QAI}}$ ) de zero, a um conforto térmico “Bom” corresponde igualmente um peso ( $P_{\text{CT}}$ ) de zero e o mesmo peso se verifica para as condições exteriores “Más” ( $P_{\text{Ext}}$ ).

Através da aplicação da equação (7), obtém-se um resultado de zero. Analisando a Tabela 11, verifica-se que, para um resultado de zero, o sistema aconselha a janela a estar fechada, tal como foi deduzido.

***b) Nível de QAI “Fraco”, nível de conforto térmico “Fraco” e nível das condições exteriores “Neutro”.***

O sistema considera como neutras as situações em que as condições exteriores não serão as ideais, mas também não serão adversas. Atendendo a este facto será de esperar à partida que, embora as condições exteriores não sejam boas, também não servirão para degradar mais os parâmetros interiores, uma vez que eles são “Fracos”, devendo recomendar a abertura da janela.

Procedendo da mesma forma que na situação a) o primeiro passo é retirar os pesos atribuídos aos níveis de cada parâmetro, a partir da Tabela 10. A uma QAI “Fraco” está associado um peso ( $P_{QAI}$ ) de 4, a um conforto térmico “Fraco” está associado um peso ( $P_{CT}$ ) de 2 e a condições exteriores “Razoáveis” o sistema associa um peso ( $P_{Ext}$ ) de 3.

Da aplicação da equação (7) obtém-se um resultado de 9, o que significa que a janela deve ser aberta, Tabela 11, tal como o previsto.

***c) Nível de QAI “Moderado”, nível de conforto térmico “Fraco” e nível das condições exteriores “Neutro”.***

Esta situação implica uma análise extremamente mais complexa do que as anteriores. Se, por um lado, abrir a janela poderá resultar numa melhoria do conforto térmico, também poderá resultar numa degradação da QAI. Independentemente da actuação do utilizador, não deverão existir efeitos muito negativos nos dois parâmetros, o que significa que o sistema poderá aceitar qualquer que seja a sua decisão.

Utilizando a mesma metodologia das situações a) e b) obtêm-se pesos de 4, 2 e 3, respectivamente, para cada um dos parâmetros. Deste modo o resultado obtido será de 7, o que, segundo a Tabela 11, significa que o sistema reconhece como indiferente a forma como a janela se encontra. Isto significa que não existem bases significativas que sirvam para suportar a decisão de fechar ou de abrir a janela, pelo que, nestas situações, caberá ao utilizador a decisão final, sabendo que, à partida, não existirão alterações significativas no estado dos parâmetros.

Na Tabela B.1, apresentada no Anexo B, podem ser verificados os resultados obtidos para todas as restantes situações.

### 3.3. INTERFACE COM O UTILIZADOR

#### 3.3.1. PRINCÍPIOS BÁSICOS

A aplicação desenvolvida em *Visual Basic .NET*, para além de proceder ao tratamento da informação, deve disponibilizar em tempo real ao utilizador do sistema a sua recomendação sobre o estado da janela e toda a informação relevante na análise efectuada, servindo como um meio de interacção.

A forma como é efectuada a interacção é um factor de extrema importância e com grandes repercussões na eficácia do sistema. É por isso necessário garantir um ambiente interactivo simples de utilizar, atractivo e de fácil acesso. Com isto, pretende-se facilitar a adaptação e criar condições para que seja o sistema a atrair o utilizador e não o contrário. O objectivo é sobretudo levar o utilizador a uma utilização mais assídua do sistema, o que se poderá traduzir no fim em melhores resultados, quer em termos de eficiência, quer em termos de satisfação dos ocupantes perante esses resultados.

A criação do *Interface* assenta em três grandes bases.

1) ***Interface simples e intuitivo para o utilizador comum.*** Proporcionar uma interacção simples com um utilizador comum começa por procurar conhecer e entender as suas limitações e atender às suas necessidades reais. Não existe portanto necessidade de tornar essa interacção muito complexa, sobretudo através da disponibilização de informação que não é pedida ou que não é relevante para o objectivo do sistema. Essa informação deve-se restringir apenas aos pontos mais importantes, relegando dados mais técnicos para segundo plano. Deste modo, o acesso a informação mais detalhada é possível, mas destina-se sobretudo a utilizadores mais avançados, não prejudicando a essência principal da aplicação. Além disso, o modo de navegação entre páginas e menus disponíveis deve ser o mais intuitiva possível, por forma a permitir uma adaptação rápida a um utilizador principiante.

2) ***Interface apelativo.*** As preocupações estéticas e visuais são actualmente muito levadas em linha de conta, tornando a imagem transmitida um factor importante para o utilizador. Isto leva a que seja importante não descurar o aspecto gráfico e a forma como é efectuada a exposição da informação. Assim, os ambientes proporcionado pela aplicação,

quer em termos de cenários, do *layout* utilizado ou dos painéis de acesso, assim como as cores utilizadas e a forma como é estruturada e apresentada a informação, por exemplo através da utilização de gráficos e tabelas, têm um forte impacto na aceitação dos utilizadores.

3) ***Interface facilmente acessível.*** As limitações de acesso à informação são, no contexto deste sistema, particularmente relevantes. A não existência de uma interacção regular com o utilizador inviabiliza desde logo o sistema, uma vez que este é dependente das suas acções. E será ainda bastante provável que uma grande percentagem dos utilizadores não deverá, por iniciativa própria, ir à procura da aplicação para verificar o estado recomendado para cada janela, sobretudo se isso implicar grandes deslocações dentro do edifício.

#### 3.3.2. ACESSO À INFORMAÇÃO

A solução proposta para evitar as limitações de acesso à aplicação provocadas pelas grandes deslocações necessárias no edifício, é precisamente o oposto a esta situação, isto é, ser o sistema a ir à procura do utilizador. Neste contexto, a Internet surge como uma ferramenta muito interessante, na medida em que permite aceder em qualquer lugar e em qualquer altura à informação pretendida, desde que exista uma conexão disponível. Isto significa que, em qualquer zona do edifício, é possível o utilizador ter acesso ao estado recomendado pelo sistema para as janelas. Para isso, basta possuir um dispositivo móvel, como um telemóvel, um PDA (*Personal Digital Assistants*), um *smartphone* ou uma televisão portátil, que possua ligação à Internet.

A disponibilização da informação na Internet significa que será necessário o desenvolvimento de uma aplicação *Web* e de um portal de navegação para acesso à aplicação. Deste modo, o dispositivo central, normalmente um computador com acesso à Internet, deverá funcionar como um servidor.

Contudo, a utilização da Internet não é capaz de alertar os ocupantes em tempo real para a abertura ou fecho da janela. Será importante implementar uma ferramenta que consiga lançar um alerta na hora ao utilizador, de modo a que actue conforme a recomendação do sistema. Este alerta deverá consistir num aviso sonoro (e.g., um bip) emitido pela aplicação para um dispositivo inserido no módulo de sensores situado no

espaço monitorizado. Deste modo, um ocupante situado dentro do espaço monitorizado recebe a indicação no local de que é recomendada a alteração do estado da janela.

É ainda importante atender a situações em que ocorra um largo período de tempo sem que exista qualquer intervenção dos ocupantes nas janelas. Após esse período, o sistema deverá enviar uma *sms* para o utilizador com o intuito de o alertar para esse facto, podendo este alerta servir como um meio de recordar e prevenir o utilizador, assim como de melhorar a interacção entre os mesmos.

### **3.3.3. INFORMAÇÃO A DISPONIBILIZAR**

É importante ter em conta que toda a informação disponível encontra-se dividida conforme o número de espaços ventilados em que se efectua a monitorização das condições no interior. Numa situação em que o edifício possua mais que um espaço ventilado que recorra ao sistema, o *interface* deverá transmitir a informação relativa a cada um desses espaços.

Durante a definição dos princípios em que se baseia o *interface* do sistema foi referenciado que a informação que não é essencial para o utilizador comum só deverá ser disponibilizada caso seja requerida pelo mesmo. O objectivo principal do sistema é recomendar ao utilizador o estado da janela que procure garantir os melhores níveis possíveis de QAI e de conforto térmico, logo esta informação tem de ser facilmente acedida durante a utilização da aplicação.

No entanto, a informação disponibilizada não deverá apenas restringir-se ao estado recomendado pelo sistema para a janela. Pode ser do interesse do utilizador o conhecimento dos níveis actuais de conforto térmico e de QAI, assim como de valores específicos associados a estes parâmetros, como por exemplo as temperaturas no interior e no exterior, a humidade, as concentrações de dióxido de carbono, entre outros. Desta forma, para além de ser recomendado automaticamente o fecho ou abertura da janela, a aplicação disponibiliza os valores relativos aos parâmetros monitorizados, que poderão servir para uma análise do utilizador à decisão do sistema, na eventualidade de existirem dúvidas ou curiosidade em perceber o processo de decisão.

Além disso, será permitida ainda uma consulta ao histórico do sistema, onde o utilizador deverá poder constatar a evolução da variação dos parâmetros durante períodos definidos. Isto pode ser útil para analisar tendências de maneira a perceber como variam as



condições interiores e exteriores, bem como as recomendações do sistema, ao longo do dia ou com as estações do ano.

Assim, por cada espaço ventilado, a informação a disponibilizar ao utilizador encontra-se na Tabela 12. Além disso, são ainda distinguidas as informações que se consideram prioritárias das informações secundárias.

**Tabela 12 - Informação a disponibilizar e sua importância para o utilizador**

	<b>Informação</b>	<b>Importância para o utilizador</b>
	Estado Recomendado pelo Sistema (vs. estado actual da janela)	Prioritária
	Nível de QAI	Prioritária
	Nível de Conforto Térmico	Prioritária
Interior	Temperatura Ambiente	Secundário
	Humidade Relativa	
	Concentração de CO <sub>2</sub>	
Exterior	Temperatura do Ar	Secundário
	Humidade Relativa	
	Concentração de PM <sub>10</sub>	
	Concentração de ozono	
Histórico	Estado da janela vs Estado Recomendado	Secundário
	Variação dos Níveis de QAI	
	Variação dos Níveis de Conforto Térmico	
	Variação da Temperatura Ambiente no Interior e Temperatura do Ar no Exterior	
	Variação da Concentração de CO <sub>2</sub> no interior	
	Condições de Referência Utilizadas	Secundário

### 3.4. CARACTERIZAÇÃO E POTENCIALIDADES DO SISTEMA

#### 3.4.1. ARQUITECTURA

O sistema proposto funciona em tempo real, sendo que o fluxo de informação passa por três processos distintos.

Inicialmente, os dados relativos aos parâmetros monitorizados são recolhidos pelos sensores colocados no interior e na janela e pela estação ou pela rede meteorológica, sendo que os módulos de comunicação emissores enviam a informação através de tecnologia *wireless* para o módulo central (no caso de se utilizar uma rede meteorológica os dados da rede podem ser acedidos pela Internet).

Seguidamente, um computador efectua o processamento da informação recolhida neste módulo, utilizando o modelo de decisão desenvolvido.

Por fim, são disponibilizados os resultados e a informação ao utilizador através da *interface* da aplicação desenvolvida ou através de um portal *Web*.

A arquitectura do sistema é representada pelo esquema da Figura 11, onde as setas indicam o sentido do fluxo de informação.

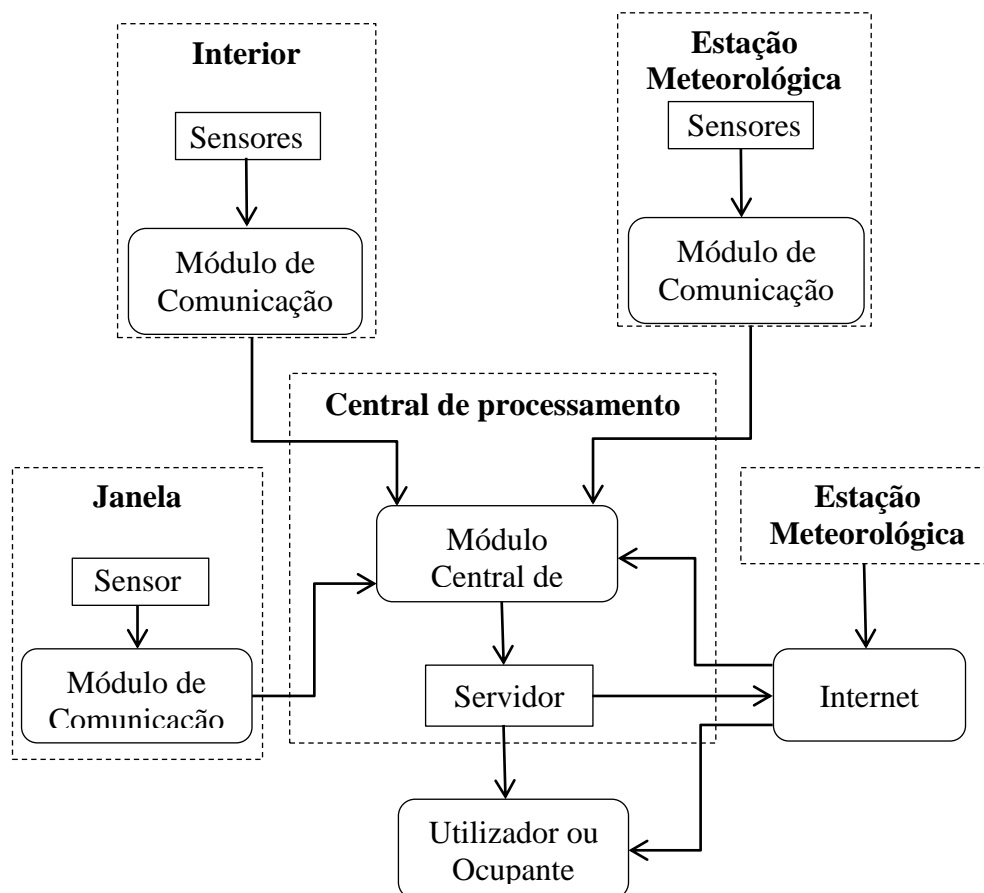


Figura 11: Arquitectura do sistema

A instalação de todo o sistema consiste na implementação das infra-estruturas que o compõem, nomeadamente dos sensores, da estação meteorológica e do computador ou dispositivo central (responsável por aceder aos dados e pela disponibilização *online* do sistema) com acesso à Internet. Além disso, a instalação implica ainda a configuração dos módulos de comunicação, associando os parâmetros aos respectivos espaços monitorizados, para além da definição do acesso da aplicação ao módulo de recepção. Isto permitirá ao sistema aceder e reconhecer automaticamente a informação monitorizada e efectuar uma análise separada para cada espaço, ou janela, em tempo real.

#### **3.4.2. ADAPTAÇÃO AOS TIPOS DE EDIFÍCIOS**

Ao longo da dissertação, vêm sendo referidos esporadicamente algumas das vantagens e desvantagens associadas às diferentes tipologias dos edifícios, que se reflectem no desempenho do sistema.

É verdade que, embora o sistema esteja concebido para qualquer tipo de edifício, poderá apresentar desempenhos ou níveis de adaptação diferentes, conforme a sua tipologia, serviços e funcionamento.

Neste aspecto, prevê-se à partida que os edifícios que possuam sistemas de gestão técnica apresentem as maiores vantagens no desempenho do sistema. Isto deve-se sobretudo à possibilidade de utilização e integração do sistema nas tecnologias domóticas, nomeadamente a X10 e a EIB/KNX que são actualmente as mais comuns. Este tipo de tecnologia, para além de poder integrar automaticamente todos os equipamentos e subsistemas, efectua uma gestão inteligente do edifício, nomeadamente dos consumos energéticos, podem processar em tempo real a informação e aceder automaticamente à Internet, podendo funcionar como um servidor dedicado, e possui ainda meios e dispositivos que facilitam a interacção com o utilizador.

A adaptação do sistema aos edifícios de serviços é muito dependente da actividade aí desenvolvida. No caso de um edifício em que se pretendam garantir constantemente níveis de QAI ou de conforto térmico bastante elevados, como por exemplo em hospitais, centros de saúde, escolas, lares, etc., poderá existir um potencial muito elevado na aplicação do sistema. Isto deve-se ao facto de nestes locais existir maior controlo da QAI e do conforto térmico dos ocupantes, comportando maiores necessidades de utilização de sistemas de

climatização que se traduzem em maiores consumos energéticos. Além disso, a aquisição dos equipamentos requeridos não deverá constituir um factor muito impeditivo para a sua implementação, atendendo a que o investimento necessário não será muito significativo comparativamente com algumas das suas infra-estruturas e as vantagens da sua aplicação poderão justificar esse investimento.

Noutro tipo de edifícios existem bastantes factores que podem jogar a favor ou contra a implementação do sistema. Assim, os níveis de ocupação, as preocupações com o conforto e saúde dos ocupantes, o capital de investimento, a actividade física desenvolvida, as condições climáticas, as dimensões, nível de exposição e construção do edifício, são todos factores importantes para a sua viabilização.

Edifícios com sistemas de climatização dotados de ventilação mecânica são um caso específico de análise. É verdade que o sistema desenvolvido não garante constantemente bons níveis de qualidade do ar, uma vez que se encontra dependente de factores que são muito variáveis e, por isso mesmo, difíceis de controlar. Deste modo, a substituição ou a implementação deste sistema em detrimento de um sistema de ventilação mecânica está dependente do controlo mais ou menos minucioso dos níveis de qualidade do ar. Num edifício em construção essa decisão cabe ao projectista e num edifício existente cabe ao responsável pela climatização. Uma maior restrição às variações da qualidade do ar deverá resultar na opção pela ventilação mecânica, ao passo que a procura de garantir apenas os níveis mínimos desse parâmetro deverá resultar na opção por este sistema.

Contudo, existe ainda uma terceira opção que poderá passar pela implementação de um sistema híbrido, com a utilização do sistema desenvolvido e de um sistema de ventilação mecânica em simultâneo. Esta opção poderá mesmo permitir reduções muito significativas de consumo em edifícios que já utilizem ventilação mecânica, caso seja priorizado o sistema de ventilação natural. Esta redução de consumo pode dever-se ao facto de o sistema de ventilação natural efectuar uma optimização das taxas de ventilação do ar proveniente do exterior, resultando em melhores condições médias no interior do edifício. Apenas nas ocasiões em que esse sistema não consiga garantir condições aceitáveis para os ocupantes é que será necessário recorrer à ventilação mecânica, evitando uma utilização mais assídua, e reduzindo desse modo o seu consumo energético.

#### 3.4.3. INTEGRAÇÃO DE SISTEMAS

Uma das vantagens já mencionada das tecnologias domóticas prende-se com a possibilidade de integração com outros sistemas e equipamentos presentes no edifício.

Existindo essa oportunidade, pode ser bastante vantajoso tirar partido das vantagens inerentes a essa integração. Basicamente, a integração de sistemas num edifício consiste na troca de informação entre os mesmos, com o intuito de otimizar o seu funcionamento e as acções e decisões presentes nos processos automatizados.

Actualmente é possível constatar uma grande variedade de sistemas integrados presentes no edifício, que o tornam cada vez mais como um espaço auto-suficiente.

Um exemplo de integração de sistemas é o sistema de simulação de presença. Este permite a um edifício simular actividade de ocupantes quando não se encontra ocupado, através do controlo automático da iluminação, dos sistemas de som, da abertura e fecho de estores, etc. Para isso é necessária a comunicação e troca de informação entre todos estes sistemas, integrando-os com o objectivo de criar um sistema mais complexo e bastante útil para ajudar a garantir a segurança do edifício.

Do mesmo modo, neste tipo de edifícios, poderá ser possível ao sistema desenvolvido nesta dissertação comunicar com outros sistemas de modo a obter informação útil para ajudar a otimizar o seu desempenho.

No que respeita à climatização de edifícios estas tecnologias apresentam soluções bastante inovadoras, como por exemplo:

- 1) Controlar o sistema de climatização por divisões ou zonas, definindo temperaturas para cada hora do dia e para cada zona. Caso se verifique a abertura de uma qualquer janela, poderá a climatização parar automaticamente até que a janela seja fechada, evitando gastos desnecessários. A activação e desactivação poderão ser efectuadas via telefone ou Internet de qualquer parte do mundo [27];
- 2) Abrir e fechar janelas, subir e descer estores motorizados, de forma automática, em função da temperatura e luminosidade exterior, ou em função da saída ou entrada no edifício. A partir de um comando central local ou a partir de uma chamada telefónica é possível efectuar este controlo [27].

A possibilidade de integrar o sistema desenvolvido num sistema semelhante ao exemplo 1 permitiria utilizar as condições de referência para cada divisão do edifício e

ainda gerir automaticamente um sistema híbrido, uma vez que este efectua a gestão automática do sistema de AVAC. Assim, era possível a redução de consumo associado a este sistema de climatização e obter condições propícias para a actividade ou função realizadas nas diferentes divisões.

Num edifício que possua motorização de janelas, como no exemplo 2, é possível o sistema efectuar a abertura e o fecho automático das mesmas, não apenas com base na temperatura exterior, mas considerando todos os parâmetros utilizados no modelo desenvolvido.

Para além destes exemplos, existem muitas outras formas de potenciar o sistema, nomeadamente através da sua integração com detectores de intrusão, detectores de presença, ferramentas de análise e optimização dos dados e ferramentas de previsão das condições climáticas.

#### **3.4.4. ANÁLISE ENERGÉTICA E ECONÓMICA**

O principal factor de motivação para a realização desta dissertação prende-se com os elevados consumos energéticos que se verificam nos edifícios, principalmente no que respeita aos consumos associados aos sistemas de climatização.

É fundamental que o sistema implementado apresente consumos muito reduzidos, de modo a tirar partido das vantagens associadas à utilização da ventilação natural.

O recurso a redes de sensores de baixo consumo perfila-se assim como a solução mais óbvia, assim como a utilização da tecnologia *wireless ZigBee*.

No entanto, a necessidade de um servidor dedicado, em certas situações, serve como um factor limitativo, uma vez que será necessário possuir um computador sempre operacional. Esta limitação será mais evidente em aplicações domésticas, nomeadamente nas habitações independentes que não possuem sistemas automatizados ou de domótica, mas é algo inerente a qualquer sistema dedicado inteligente. No caso de edifícios de serviços de maiores dimensões, ou até em edifícios prediais para habitação, abrem-se mais possibilidades, na medida em que será apenas necessário um único servidor para implementar o sistema em todo o edifício.

A análise de custos prende-se sobretudo com a aquisição e manutenção do sistema. Não devem ser considerados os custos relacionados com a aquisição do computador que funciona como servidor, uma vez que actualmente este é considerado um dispositivo comum em qualquer edifício, e que pode ser utilizado para outros fins. Além disso, o

acesso à Internet vem-se difundindo cada vez mais, pelo que se assume que a maior parte dos edifícios em que se poderá implementar o sistema já deverão possuir estes recursos.

Os principais custos de aquisição prendem-se neste caso com os sensores e com os módulos de comunicação. Se por um lado, o facto de utilizarem tecnologia *wireless* acaba por tornar estes equipamentos mais dispendiosos, por outro também não implicam custos de aquisição com cabos e instalação eléctrica e, no caso de serem necessárias obras para a implantação dos cabos, os custos associados a essas obras. Isto significa ainda que quanto maior for a distância entre os sensores e o servidor, maiores serão os benefícios da utilização de tecnologia *wireless*, dependendo obviamente do seu alcance.

Actualmente e embora se venha verificando uma evolução bastante positiva, os custos associados a cada sensor centram-se normalmente na ordem das dezenas de euros, conforme o tipo de sensor e a sua aplicação. Será portanto de esperar que o custo total dos equipamentos possa ascender facilmente a valores na ordem das poucas centenas de euros. Isto é muito dependente do número de parâmetros e de espaços que se pretende monitorizar, do tipo de tecnologia utilizada pelos equipamentos ou do modelo dos mesmos. O facto de o sistema não englobar uma grande variedade de equipamentos, apenas sensores e módulos para comunicação, reflecte-se assim bastante no seu custo final.

Para sistemas inteligentes de automação de edifícios, em que normalmente estão envolvidos custos de aquisição da ordem dos milhares de euros, serão valores bastante aceitáveis. Obviamente que ao focalizar a análise apenas ao sector da habitação, são valores relativamente elevados, não comportáveis para grande parte dos habitantes.

Há, no entanto, que atender que a aplicação de um sistema automatizado em edifícios comporta custos de aquisição e de implementação normalmente significativos, mas que também podem ter retorno a médio ou a longo prazo.

No sistema desenvolvido o retorno pode advir de uma utilização menos frequente de sistemas de AVAC, uma vez que proporciona uma gestão da qualidade do ar mais eficiente, o que se traduz em menores consumos de energia.

De modo a efectuar uma análise energética e económica mais objectiva é apresentado um exemplo de uma possível implantação do sistema no Anexo C – Implantação Proposta.





## CAPÍTULO 4

### ***SOFTWARE* DESENVOLVIDO**

Da concretização efectiva dos conceitos e da metodologia descritos no capítulo anterior, foi criado o *software* necessário para o funcionamento do sistema. Este é composto por uma aplicação local e por um portal *online*.

Ao longo deste capítulo é efectuada uma descrição detalhada do funcionamento da aplicação local e apresentado o *interface* gráfico relativo ao portal *Web*.

#### **4.1. APLICAÇÃO LOCAL**

A aplicação local foi desenvolvida utilizando a linguagem de programação *Visual Basic .NET*, como já mencionado.

O *software* utilizado para o seu desenvolvimento foi o *Microsoft Visual Studio*.

Este *software* é um IDE desenvolvido pela *Microsoft*, que consiste num pacote de programas para desenvolvimento de *software*, especialmente ligado à framework .NET e às linguagens *Visual Basic* (VB), C, C++, C# (*C Sharp*) e J# (*J Sharp*). Além disso, é um produto utilizado para desenvolvimento na área *Web*, através da plataforma *ASP.NET*. Como foi referenciado, as linguagens utilizadas por esta plataforma são o *VB.NET* (*Visual Basic .Net*), o C# e o J#.

Utilizando o *Microsoft Visual Studio*, foi efectuada a comunicação entre a aplicação desenvolvida e o módulo de comunicação para sensores, foi implementado o modelo de decisão concebido e criados todos os formulários associados à aplicação.

#### 4.1.1. GESTÃO DOS DADOS

O acesso da aplicação aos dados envolve à partida a definição da comunicação com o módulo. Para isso a aplicação acede aos dados transmitidos pelo módulo, normalmente através da porta série RS-232 ou de uma Biblioteca de Ligação Dinâmica (DLL).

Estes dados são processados e guardados posteriormente na base de dados *MySQL*, juntamente com a data e a hora em que foram lidos.

A base de dados é constituída pelas tabelas relativas aos parâmetros associados ao interior e à janela dos espaços monitorizados, assim como ao ambiente exterior. Nestas tabelas são armazenados todos os dados necessários para o funcionamento do sistema, apresentados na Tabela 7, referente à secção 3.1.2.

A data e hora de “entrada” dos dados possibilitam o registo da informação, que poderá ser em qualquer altura consultada pelo utilizador através da aplicação.

A leitura dos dados dos sensores é efectuada em intervalos de tempo definidos pelo utilizador ou pelo instalador, requerendo obviamente maior capacidade de processamento e menores tempos de resposta quanto menor forem esses intervalos.

#### 4.1.2. INTERFACE

O aspecto gráfico da aplicação é apresentado na Figura 12.



Figura 12: Janela inicial da aplicação local

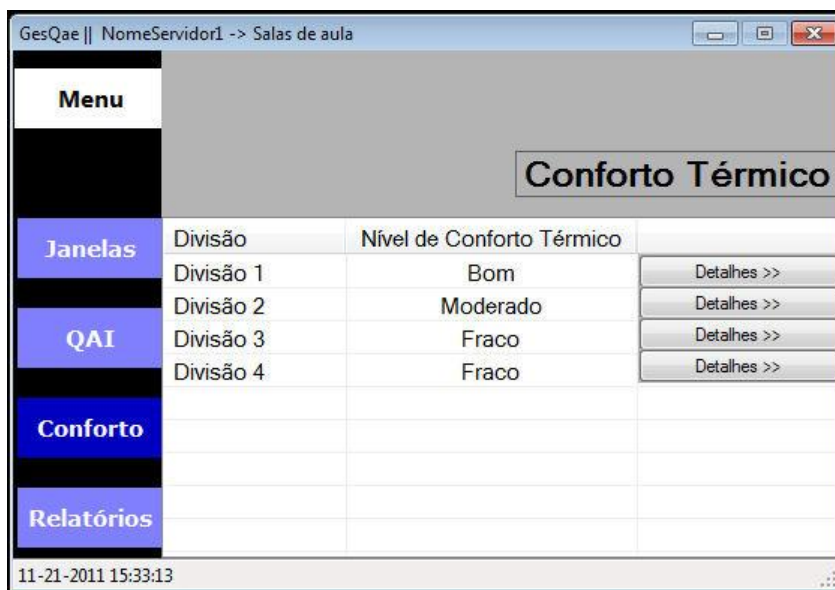
Como é visível na Figura 12, ao abrir a aplicação é imediatamente exposta a informação relativa a cada um dos espaços monitorizados (“Divisão”). Isto significa que o acesso aos dados é efectuado automaticamente, isto é, sem qualquer intervenção do utilizador, desde que existam dados provenientes do módulo de recepção.

Nesta janela é apenas possível verificar o estado actual da janela e compará-lo com o estado recomendado pelo sistema. Se o estado corrente da janela for o oposto ao estado recomendado num qualquer espaço, este é destacado a cor diferente, facilitando a leitura ao utilizador.

Um utilizador que pretenda analisar os actuais níveis de QAI e conforto térmico para cada espaço monitorizado deverá aceder aos separadores “QAI” e “Conforto”. As janelas respectivas a cada um destes parâmetros encontram-se apresentadas na Figura 13 e na Figura 14, respectivamente.

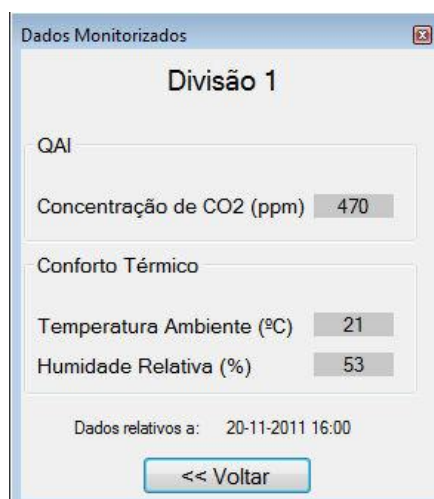
Divisão	Nível de Qualidade do Ar	
Divisão 1	Bom	Detalhes >>
Divisão 2	Moderado	Detalhes >>
Divisão 3	Moderado	Detalhes >>
Divisão 4	Mau	Detalhes >>

**Figura 13: Janela da QAI da aplicação local**



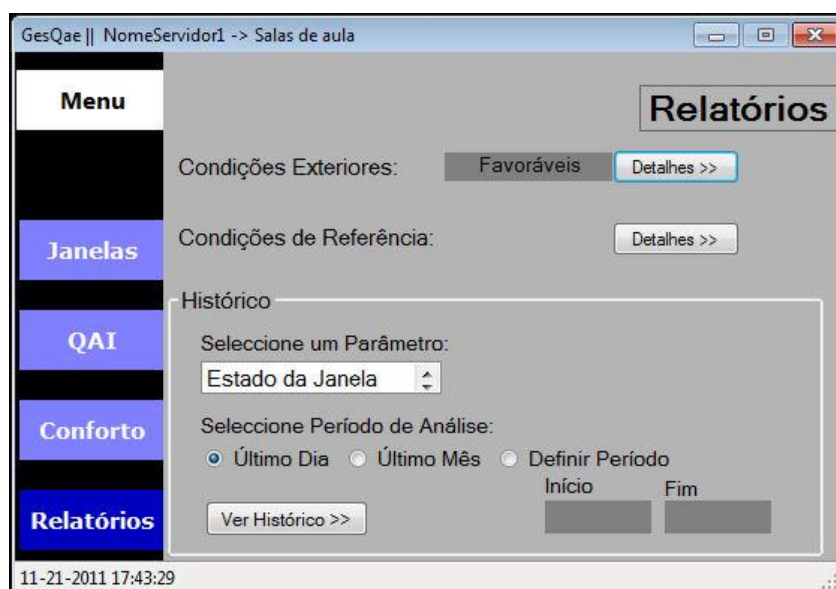
**Figura 14: Janela de conforto térmico da aplicação local**

Nestas duas janelas, para além da avaliação da QAI e do conforto térmico, é possível aceder aos dados actuais relativos a esses parâmetros, através dos botões “Detalhes”, que podem ser visíveis na janela da Figura 15.



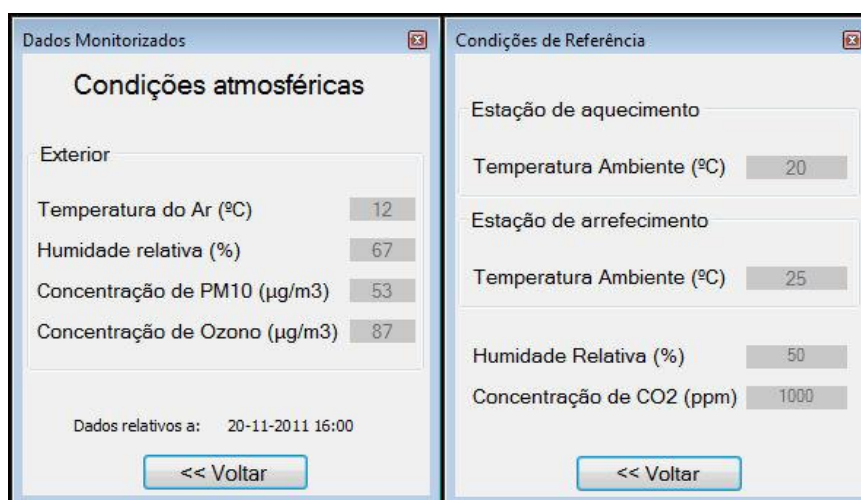
**Figura 15: Janela dados de QAI e de conforto térmico da aplicação local**

A Figura 16 mostra a janela associada ao separador “Relatórios”, onde se encontra a informação relativa aos dados associados às condições no exterior, incluindo a avaliação efectuada pelo modelo, e às condições de referência utilizadas pelo modelo de decisão. Além disso, é possível ainda aceder a um histórico dos diferentes parâmetros, num período de tempo definido pelo utilizador.



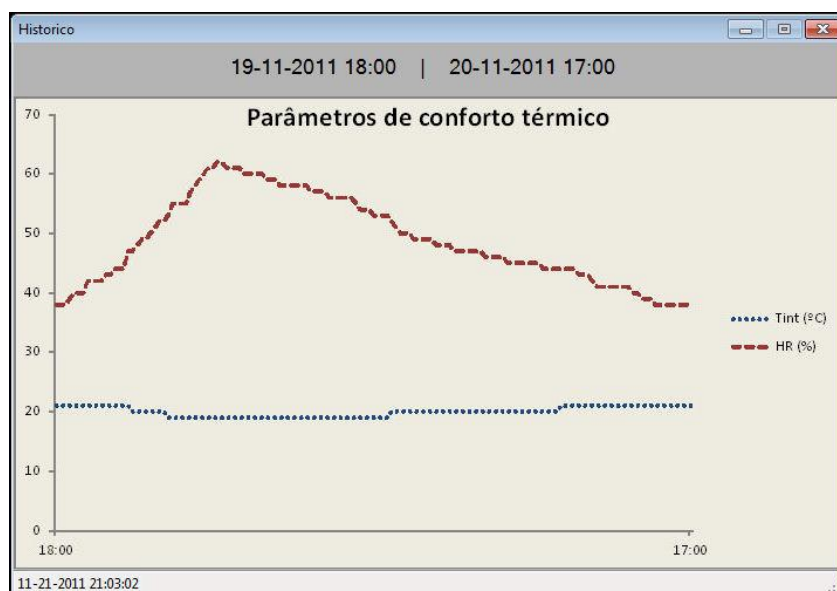
**Figura 16: Janela de Relatórios da aplicação local**

Ao clicar em “Detalhes” nas Condições Exteriores é possível aceder a uma janela em que é possível analisar os últimos dados monitorizados relativos às condições atmosféricas. Do mesmo modo, o botão “Detalhes” nas Condições de Referência abre uma janela de verificação dos valores interiores de referência utilizados pela aplicação. Estas janelas encontram-se apresentadas na Figura 17.



**Figura 17: Janelas de dados de condições atmosféricas e de referência da aplicação**

O histórico possibilita a análise da evolução dos parâmetros QAI e conforto térmico e da comparação entre o estado da janela e o estado recomendado pelo sistema. Na Figura 18 é possível visualizar a janela referente à evolução dos níveis de conforto térmico durante um dia.



**Figura 18: Janela de Histórico da aplicação local**

## 4.2. PORTAL WEB

A disponibilização *online* do sistema é efectuada através de um portal *online*, desenvolvido na plataforma ASP.NET, também presente no *software Microsoft Visual Studio*.

O principal objectivo deste portal, como já referenciado, é permitir o acesso remoto às recomendações do sistema, suprimindo a necessidade de aceder obrigatoriamente ao computador central.

Na Figura 19 encontra-se apresentado o *interface* gráfico da página principal do deste portal.

## 4 Software Desenvolvido



**Figura 19: Página inicial do portal *online***

Para além de servir como “porta” de acesso à aplicação local, este portal funciona ainda como suporte ao sistema desenvolvido, onde é possível consultar a informação relevante que está na sua base, nomeadamente a relativa aos parâmetros QAI, conforto térmico e consumo energético, assim como as soluções tecnológicas associadas aos sistemas inteligentes.

As restantes páginas, assim como os seus conteúdos podem ser consultados no Anexo D – Portal SGQAE.





# CAPÍTULO 5

## ANÁLISE DO MODELO PROPOSTO

Neste capítulo é efectuada uma análise ao modelo de decisão desenvolvido, com vista a testar a sua capacidade de resposta às variações nos dados de entrada (*inputs*), induzidas pela alteração das condições em que se encontra.

As situações consideradas nesta análise são divididas em dois meses, por forma a perceber as diferenças provocadas pelas estações de aquecimento e arrefecimento.

As preocupações na escolha dos espaços considerados prendem-se sobretudo com as diferenças no perfil de utilização e ocupação. Pretende-se com isto analisar a influência da ocupação dos espaços nos resultados obtidos, com a finalidade de chegar a conclusões relativamente à adequação do sistema ao tipo de edifício. Deste modo, a análise é efectuada para um espaço utilizado num edifício de serviços e para outro utilizado num edifício para habitação.

É ainda considerada a possibilidade de existência de climatização no interior dos espaços, pelo que é analisada a resposta do sistema em situações em que esta é utilizada independentemente da estação do ano e situações em que não é utilizada.

A selecção das zonas em que os edifícios se encontram é realizada com o intuito de efectuar uma distinção algo significativa dos factores associados às condições climáticas e ao tipo de local (rural ou urbano).

As variações provocadas pela diferença das condições em que o espaço se encontra resultam em diferenças mais ou menos acentuadas dos parâmetros QAI e conforto térmico, bem como das condições exteriores, que por sua vez deverão exercer influência directa nos resultados obtidos pelo modelo de decisão do sistema.

Na Tabela 13 encontram-se apresentadas as diferentes situações analisadas e o parâmetro afectado, em termos das condições de *input* do sistema, pela variação de cada uma dessas situações.

**Tabela 13 - Situações consideradas para análise do modelo**

<b>Critério</b>	<b>Situações analisadas</b>	<b>Parâmetro(s) influenciado(s)</b>
Estação	Aquecimento	Conforto térmico e condições atmosféricas
	Arrefecimento	
Tipo de edifício	Serviços	QAI
	Habitação	
Climatização interior	Durante todo o ano	Conforto térmico
	Sem climatização	
Zona	Norte/Interior	Condições atmosféricas
	Centro/Litoral	
	Sul/Litoral	

A análise efectuada considera que o estado da janela é sempre igual ao estado recomendado pelo sistema em cada instante.

## **5.1. ESPAÇOS ESTUDADOS E SUAS CARACTERÍSTICAS**

Os espaços considerados consistem numa sala de aula e numa sala de estar de uma habitação.

Os parâmetros e valores adoptados para esta análise em cada uma das situações são apresentados na Tabela 14. A taxa metabólica corresponde à normalmente considerada para uma actividade de escrita na sala de aula e descanso na sala de estar.

**Tabela 14 - Valores adoptados para os parâmetros dos espaços estudados**

<b>Parâmetro</b>	<b>Valores adoptados</b>	
	<b>Sala de aula</b>	<b>Sala de estar</b>
Área do pavimento (m <sup>2</sup> )	56	24
Pé direito (m)	3	2,3
Volume (m <sup>3</sup> )	168	55,2
Taxa metabólica (met)	1,2	1,0
Número máximo de pessoas	31	6

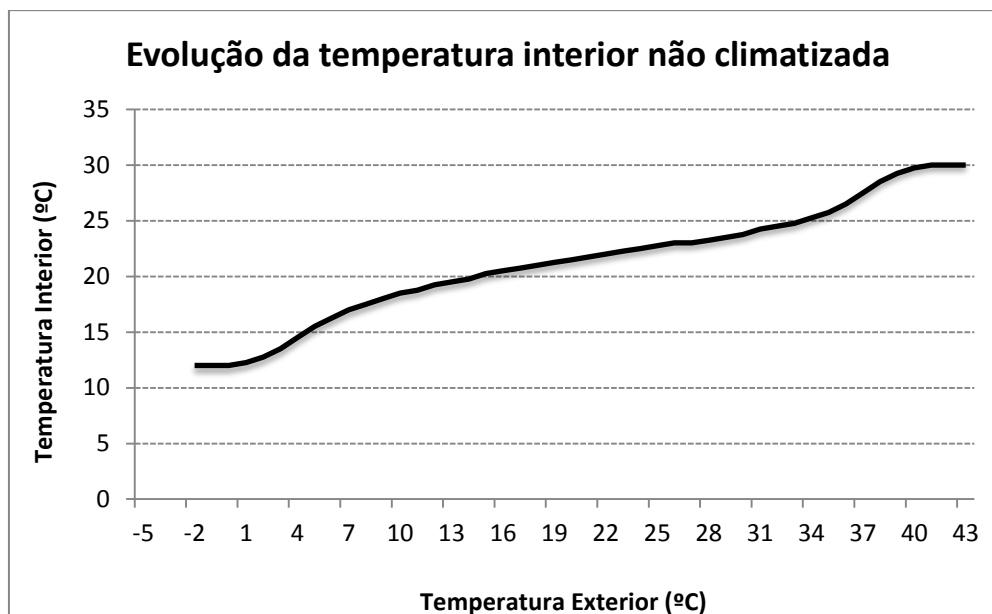
### **5.2. DEFINIÇÃO DAS CONDIÇÕES INTERIORES E EXTERIORES**

Os períodos considerados na definição das condições no exterior dizem respeito aos meses de Janeiro e de Julho, referentes aos períodos de aquecimento e de arrefecimento, respectivamente. Os valores são definidos numa base horária, o que perfaz um total de 744 ocorrências diferentes para cada um dos meses considerados.

#### **5.2.1. CONDIÇÕES INTERIORES**

Para avaliação dos parâmetros de QAI e de conforto térmico são estimados os valores relativos à concentração de CO<sub>2</sub>, à temperatura e à humidade no interior. No entanto, as estimativas das concentrações de CO<sub>2</sub> são baseadas na definição de um perfil de ocupação da sala de aula, através dos formalismos apresentados na secção 2.1.4 da presente dissertação. Relativamente à temperatura interior, as estimativas são efectuadas apenas para as situações em que não existe climatização no interior do espaço. Perante a existência de climatização do espaço são consideradas temperaturas e humidades relativas constantes e iguais às padronizadas no RCCTE.

A definição das temperaturas introduzidas para o interior, em situações em que não existe climatização, segue a evolução da temperatura no exterior do edifício, através do gráfico apresentado na Figura 20. Não serão consideradas diferenças na variação da temperatura interior com a temperatura exterior quando a janela se encontra aberta ou fechada, o que significa que em termos dos parâmetros de entrada a temperatura interior não é dependente do estado da janela.



**Figura 20: Variação da temperatura considerada no interior com a temperatura exterior**

### 5.2.2. CONDIÇÕES EXTERIORES

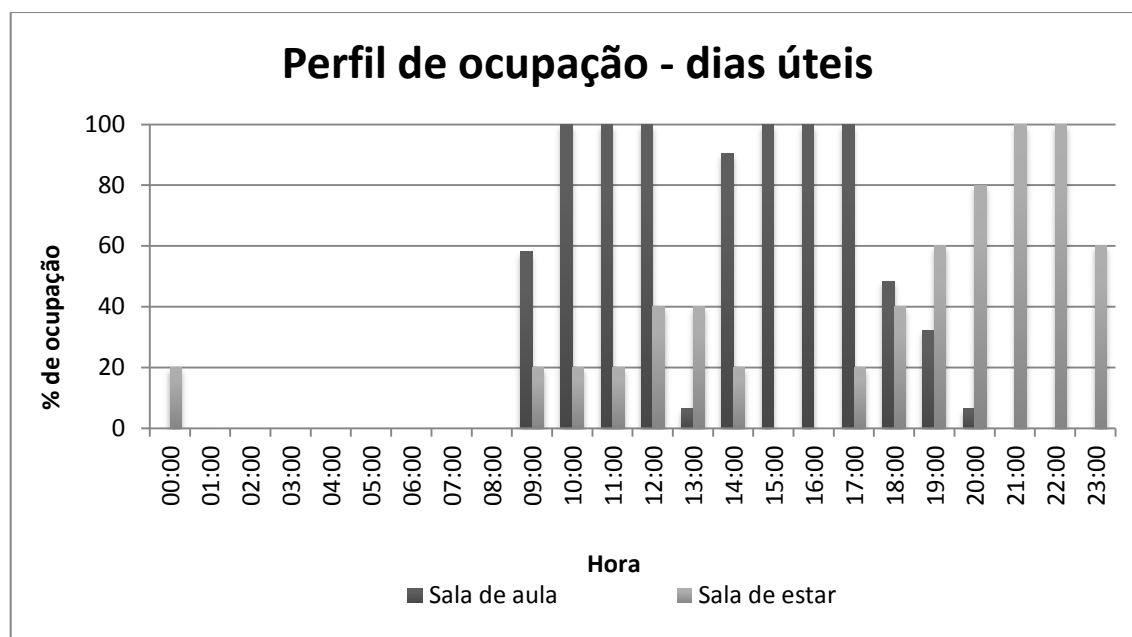
Os valores introduzidos para a temperatura e humidade no exterior foram obtidos com base em registos do INETI para o ano de 2006, enquanto as concentrações de  $PM_{10}$  e de ozono são as relativas aos meses de Janeiro e de Junho de 2010, disponibilizadas na Internet pela Agência Portuguesa do Ambiente.

Foram seleccionadas três localidades portuguesas que apresentam climas e níveis de urbanização distintos – Bragança, Aveiro e Vila Real de Santo António – e que permitem uma melhor análise comparativa dos efeitos da alteração dos factores associados às condições exteriores nos resultados obtidos pelo modelo.

### 5.3. PERFIL DE OCUPAÇÃO

A definição do perfil de ocupação, hora a hora, distingue dias úteis e não úteis, sendo feita a consideração de que não existe ocupação da sala de aula nestes últimos.

Relativamente aos dias úteis são considerados perfis típicos de utilização de cada um dos espaços. Esses perfis encontram-se representados no gráfico das Figura 21.



**Figura 21: Perfil de ocupação dos espaços nos dias úteis**

É possível observar na Figura 21 a existência de períodos de ocupação da sala de aula bastante mais acentuados na parte da manhã e durante a tarde, ao passo que a sala de estar revela maiores taxas de ocupação durante o período noturno.

É ainda considerado um perfil diferente de ocupação da sala de estar nos dias não úteis, uma vez que é normalmente mais considerável nestes dias, ilustrado na Figura 22.



**Figura 22: Perfil de ocupação da sala de estar nos dias não úteis**

#### 5.4. DETERMINAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE CO<sub>2</sub> NO INTERIOR

Da resolução analítica da equação diferencial do balanço de massa de CO<sub>2</sub>, equação (4), considerando que no instante  $t=0$ ,  $C_i=C_0$  e que as renovações de ar,  $\lambda_V$ , e a produção de CO<sub>2</sub>,  $S$ , são constantes no intervalo de 0 a  $t$ , a concentração de CO<sub>2</sub> no instante  $t$  é dada por:

$$C_i = C_{\text{ext}} + \frac{S}{\lambda_V V} + \left( C_0 - C_{\text{ext}} - \frac{S}{\lambda_V V} \right) e^{-\lambda_V t} \quad (8)$$

onde:

$C_i$ : concentração média instantânea de CO<sub>2</sub> no interior (ppm);

$C_{\text{ext}}$ : concentração instantânea de CO<sub>2</sub> no exterior (ppm);

$S$ : caudal mássico de CO<sub>2</sub> produzido pelos ocupantes (m<sup>3</sup>/s);

$\lambda_V$ : taxa de renovação do ar (h<sup>-1</sup>);

$V$ : volume do espaço (m<sup>3</sup>);

$C_0$ : concentração média instantânea de CO<sub>2</sub> no interior no instante  $t=0$  (ppm).

Para o cálculo de  $C_i$  foram adoptados os seguintes pressupostos:

- 1)  $RQ = 0,83$  e  $A_{Du} = 1,8 \text{ m}^2$ , correspondentes a um adulto de tamanho médio, para determinação do CO<sub>2</sub> produzido em média por cada pessoa,  $S_p$ , sendo que:

$$S = N S_p \quad (9)$$

onde  $N$  corresponde ao número de pessoas.

- 2) A produção de CO<sub>2</sub> e o valor de renovações de ar por hora são constantes nesse intervalo.
- 3) A actividade metabólica é constante.
- 4) A concentração de CO<sub>2</sub> inicial,  $C_0$ , em cada instante  $t$ , é igual à concentração de CO<sub>2</sub> no instante  $t - 1h$ .
- 5)  $\lambda_V = 1 \text{ h}^{-1}$ , devido apenas a infiltrações, quando a janela está fechada e  $\lambda_V = 4 \text{ h}^{-1}$  quando a janela está aberta.
- 6) A concentração de CO<sub>2</sub> no exterior é constante e igual a 380 ppm, sendo esta uma concentração de referência para uma região não poluída.

Da resolução das equações (5) e (6), capítulo 2.1.4, é possível obter a produção estimada de CO<sub>2</sub> por pessoa,  $S_p$ , para cada um dos espaços em análise. Assim, considera-se que na sala de aula, em média, cada pessoa produz 18,5 l/h (0,0051 l/s), enquanto na sala de estar produz 15,5 l/h (0,0043 l/s) de CO<sub>2</sub>.

### **5.5. VARIAÇÃO DOS ALERTAS EMITIDOS E NÚMERO DE EXCEDÊNCIAS**

Após aplicação do modelo é analisada nesta secção a influência das variações induzidas pelas diferenças entre cada uma das situações consideradas nos resultados finais, através da contabilização do número de alertas emitidos (para abertura e fecho das janelas) e da constatação da adequação dos níveis de QAI e de conforto térmico.

#### **5.5.1. ESPAÇO CLIMATIZADO**

Nesta situação são consideradas temperaturas interiores constantes e iguais às condições de referência estabelecidas pelo RCCTE, induzidas pelos sistemas de climatização no interior do espaço.

Assim, para o mês de Janeiro a temperatura interior considerada é de 20°C, ao passo que para o mês de Julho essa temperatura é de 25°C. A humidade relativa considera-se de 50% para as duas estações, não existindo actualmente condições ideais apresentadas para este parâmetro na estação de aquecimento.

A variação da emissão dos alertas para espaços climatizados não sofre alterações muito significativas ao longo dos diferentes dias, sendo que é possível definir resultados típicos para as diferentes regiões e estações. Estes resultados encontram-se apresentados no Anexo E.

##### **5.5.1.1. Bragança**

Na tabela 15 podem ser observados os valores obtidos para as diferentes zonas consideradas em termos do número total de alertas e do número de excedências da QAI.

**Tabela 15 - Número de alertas e excedências (espaço climatizado)**

<b>Zona</b>	<b>Espaço</b>	<b>Mês</b>	<b>Número total de alertas</b>	<b>Número de excedências de QAI (h)</b>
Bragança	Sala de Aula	Janeiro	46	99
		Julho	80	97
	Sala de Estar	Janeiro	20	48
		Julho	84	23
Aveiro	Sala de Aula	Janeiro	60	82
		Julho	80	35
	Sala de Estar	Janeiro	18	46
		Julho	34	39
Vila Real de Santo António	Sala de Aula	Janeiro	64	80
		Julho	84	33
	Sala de Estar	Janeiro	32	40
		Julho	72	29

### 5.5.2. ESPAÇO NÃO CLIMATIZADO

A análise do modelo num espaço não climatizado considera uma variação da temperatura interior influenciada sobretudo pela alteração da temperatura exterior, segundo o gráfico da Figura 20. É ainda considerada que a temperatura exterior no instante  $t$  só influencia a temperatura interior no instante  $t+I$ , o que, em termos práticos, significa que essa influência demora uma hora a exercer o seu efeito.

Os resultados relativos ao número de alertas e de excedências para as diferentes zonas podem ser observados na Tabela 16.

**Tabela 16 - Número de alertas e excedências (espaço não climatizado)**

<b>Zona</b>	<b>Espaço</b>	<b>Mês</b>	<b>Número total de alertas</b>	<b>Número de excedências de QAI (h)</b>
Bragança	Sala de Aula	Janeiro	72	61
		Julho	112	17
	Sala de Estar	Janeiro	76	60
		Julho	96	27



Aveiro	Sala de Aula	Janeiro	68	41
		Julho	114	17
	Sala de Estar	Janeiro	28	47
		Julho	96	27
Vila Real de Santo António	Sala de Aula	Janeiro	68	37
		Julho	92	3
	Sala de Estar	Janeiro	28	41
		Julho	106	5

### 5.6. CONCLUSÕES PRELIMINARES

É facilmente perceptível que o número de alertas emitidos e de excedências de QAI ou de conforto térmico varia substancialmente com as situações consideradas, permitindo desde logo atestar a versatilidade de resposta do modelo à alteração das condições a que se encontra sujeito.

Para efectuar uma análise mais focalizada aos resultados obtidos são retiradas conclusões sobre a influência observada nos resultados de cada um dos parâmetros considerados.

#### 5.6.1. TIPO DE ESPAÇO

A distinção dos tipos de espaços em termos dos *inputs* de entrada para esta análise tem a ver sobretudo com o seu perfil de ocupação e com as suas dimensões, parâmetros que influenciam directamente a concentração de CO<sub>2</sub> e, consequentemente, a QAI.

É possível observar pelos resultados que, em geral, existe uma diminuição do número de alertas de abertura ou fecho da janela quando se passa da sala de aula para a sala de estar. Esta constatação deve-se essencialmente a dois factores. O primeiro está associado à maior densidade populacional da sala de aula, que se traduz em maior produção de CO<sub>2</sub> por unidade de área e em maiores necessidades de ventilação do espaço. O outro factor prende-se com o maior tempo de elevada ocupação da sala de aula nos dias úteis, que resulta num maior número médio de horas de produção significativa de CO<sub>2</sub>, e por isso mesmo, numa maior frequência de utilização da ventilação.

Contudo, existem três situações em que esta observação não se verifica, que podem ser explicadas pela influência dos dias não-úteis, em que não existirão alertas relativos à QAI na sala de aula, e pela influência dos parâmetros relativos ao conforto térmico e às condições exteriores, comparativamente à QAI, na decisão final, que varia conforme as situações analisadas. Basicamente, isto significa que quanto maior for a variação dos índices de conforto térmico ou das condições exteriores, menor será a influência da QAI na decisão final e, por isso mesmo, menos relevante será a ocupação do edifício nesse processo.

O número de excedências da QAI varia também com o tipo de espaço. Da realização de uma análise separada entre espaços climatizados e não climatizados existe uma tendência para as excedências serem menos frequentes na sala de estar nos primeiros, embora isto não se observe nos resultados para Aveiro. A explicação encontra-se no facto de os níveis de conforto térmico serem constantes, o que significa que a decisão apenas é alterada com a variação da concentração de CO<sub>2</sub>, e como já foi referido, esta é normalmente mais elevada na sala de aula.

Em espaços não climatizados a influência do tipo de espaço existe, embora não seja significativa, observando-se valores bastante semelhantes em ambos os casos, o que pode ser explicado pela elevada influência dos níveis de conforto térmico na decisão final.

### **5.6.2. ESTAÇÃO**

As diferenças dos *inputs* relacionados com as estações de aquecimento e arrefecimento, representadas pelos meses de Janeiro e Julho, respectivamente, situam-se com a temperatura e humidade interior nos espaços climatizados e nas óbvias alterações das condições atmosféricas entre esses períodos. Deste modo, os parâmetros de análise para a mudança de estação serão o conforto térmico e as condições exteriores.

A primeira e óbvia conclusão prende-se com um aumento algo significativo do número de alertas durante a estação de arrefecimento. É assim evidente que os resultados obtidos vão de encontro aos esperados, uma vez que em geral nesta estação as condições exteriores são normalmente mais propícias à abertura da janela, o que se traduz em maior frequência de utilização da ventilação natural nos edifícios.

O aumento do número de alertas devido às condições exteriores mais favoráveis deverá ser a principal causa da diminuição do número de excedências na estação de arrefecimento, observada em todas as situações analisadas, dos níveis de QAI e de conforto térmico.

Da análise da influência da variação da estação conclui-se portanto que existe um maior potencial de utilização da ventilação na estação de arrefecimento, comprovado pelo modelo utilizado, com efeitos bastante positivos na QAI, assim como no conforto térmico quando o espaço não é climatizado.

### 5.6.3. EXISTÊNCIA DE CLIMATIZAÇÃO

A análise da utilização de sistemas de climatização foi efectuada pela introdução de temperaturas e humidades interiores constantes e iguais às padronizadas no RCCTE para cada estação. Assim, este factor exerce influência directa apenas no conforto térmico do espaço.

Em espaços não climatizados os níveis de conforto térmico variam bastante, sobretudo quando as condições exteriores também são bastante variáveis. Já nos espaços climatizados as necessidades de ventilação estão apenas relacionadas com a QAI. Isto leva a que nos espaços não climatizados o conforto térmico também tenha influência na decisão, o que, aliado ao facto de este parâmetro possuir menor peso no processo de decisão, aumenta de forma não muito significativa essas mesmas necessidades. Isso é comprovado pelos resultados obtidos, uma vez que se verifica um aumento (geralmente não muito significativo) do número de alertas em espaços não climatizados.

Embora se verifiquem diferenças produzidas pela existência de climatização no número de excedências, esta influência não é linear e portanto não é possível concluir sobre o efeito da climatização no número de excedências tendo em conta os resultados obtidos. Isto deve-se ao facto de a estação do ano e a zona do edifício exercerem uma influência mais significativa no número de excedências, não permitindo constatar o efeito provocado pela existência de climatização. Além disso, pode ser errado assumir que ao não existir climatização o número de excedências aumente devido à contabilização das excedências dos níveis de conforto térmico. Na verdade, a variação do conforto térmico (devida à não existência de climatização no interior) provoca uma utilização mais regular da ventilação para as mesmas condições exteriores, o que se traduz geralmente em menores concentrações médias de CO<sub>2</sub> no interior e, conseqüentemente, numa diminuição do número de excedências do nível de QAI.

#### 5.6.4. ZONA

A zona onde se localiza o edifício provoca diferenças nos parâmetros de entrada que dizem respeito às condições atmosféricas (condições climáticas + índices de concentração de poluentes), isto é, alterações das condições exteriores.

O índice de urbanização da zona e a proximidade da costa são preponderantes para a variação e adequação das condições a que o edifício se encontra sujeito e, desse modo, dos resultados obtidos pelo modelo.

Uma das características do modelo faz com que não seja absolutamente correcto assumir que uma zona cujas temperaturas médias sejam próximas das temperaturas desejadas no interior e que possua baixas amplitudes térmicas revele obrigatoriamente melhores resultados relativamente às outras zonas. Isto deve-se ao facto de serem contabilizados os índices de concentração de poluentes, que podem exercer influência bastante significativa na tomada de decisão. Um dos exemplos está relacionado com a concentração média de  $PM_{10}$  em zonas urbanas, como no caso de Aveiro, ser bastante superior à concentração desse mesmo poluente em zonas mais rurais, como no caso de Bragança.

É bastante complexa a previsão dos resultados segundo a influência da zona em análise o que é facilmente comprovado nos resultados obtidos.

A zona de Bragança é caracterizada por um Inverno geralmente mais rigoroso, o que se traduz em condições exteriores geralmente desfavoráveis e numa menor utilização da ventilação natural. Isto é verificado para os espaços climatizados, onde o número de alertas nessa zona é inferior aos relacionados com a zona de Aveiro e com a zona de Vila Real de Santo António. Contudo, em espaços não climatizados, a influência das condições exteriores na temperatura e humidade interiores é de tal forma significativa que existe frequentemente ocorrência de níveis maus de QAI e de conforto térmico. Perante estas ocorrências o modelo está concebido para recomendar a abertura da janela, mesmo com condições exteriores desfavoráveis, o que se traduz no aumento do número de alertas verificado nos resultados obtidos.

Para a estação de aquecimento Aveiro e Vila Real de Santo António apresentam números de alertas bastante semelhantes, em que as condições exteriores médias são menos rigorosas relativamente a Bragança. Além disso, não existem diferenças significativas entre espaços climatizados e não climatizados, devido ao facto de os níveis de conforto térmico não serem extremamente afectados pelas condições exteriores.

Relativamente à estação de arrefecimento, não é perceptível uma diferença relevante entre o número de alertas em cada uma das zonas. O número de excedências de QAI tende a ser mais elevado na zona de Bragança e mais baixo na zona de Vila Real de Santo António. A explicação para estes resultados reside nas condições exteriores médias nessas zonas, normalmente mais favoráveis quanto mais próximas estiverem das condições interiores desejadas, o que será o caso de Vila Real de Santo António, e mais desfavoráveis quando se verifica o oposto, como no caso de Bragança.



# CAPÍTULO 6

## CASO DE ESTUDO

Os efeitos provocados pela aplicação do sistema, no que respeita aos consumos energéticos e à QAI, associados à ventilação do ar com o objectivo de climatizar o espaço interior são alvo de estudo neste capítulo. Pretende-se com isto atestar a importância e relevância deste sistema como um método de optimização das taxas de ventilação do ar, conjugando eficientemente os níveis de QAI com o consumo energético necessário para manter os níveis desejados de conforto.

O estudo efectuado consiste numa comparação entre situações extremas, em que as janelas se encontram sempre abertas ou sempre fechadas, e a situação em que é utilizado o sistema proposto, com o modelo de decisão desenvolvido.

A optimização das taxas de ar consiste na obtenção de um ponto óptimo de utilização das janelas, que responda o mais eficientemente possível às alterações interiores e exteriores do espaço, quer em termos de consumo energético, quer em termos de QAI. Assim, este estudo visa comparar os resultados obtidos utilizando o modelo de decisão proposto com situações em que, supostamente, os consumos energéticos são minimizados em detrimento da QAI, janela fechada, e com situações em que previsivelmente a QAI é beneficiada, negligenciando os aumentos do consumo energético associado à climatização, janela aberta.

Este estudo é realizado numa base horária para um ano completo, sendo que as condições utilizadas são idênticas às do capítulo anterior, na situação de análise de um espaço climatizado na cidade de Aveiro. Isto significa que é considerada uma temperatura interior ( $T_{int}$ ) constante de 20°C para a estação de aquecimento e de 25°C para a estação de arrefecimento, sendo que as temperaturas exteriores são obtidas novamente com base em registos do INETI.

O espaço considerado é o da sala de aula do capítulo anterior, com um perfil de ocupação idêntico e que se repete ao longo de todos os meses, não distinguindo desse modo nenhum período de férias.

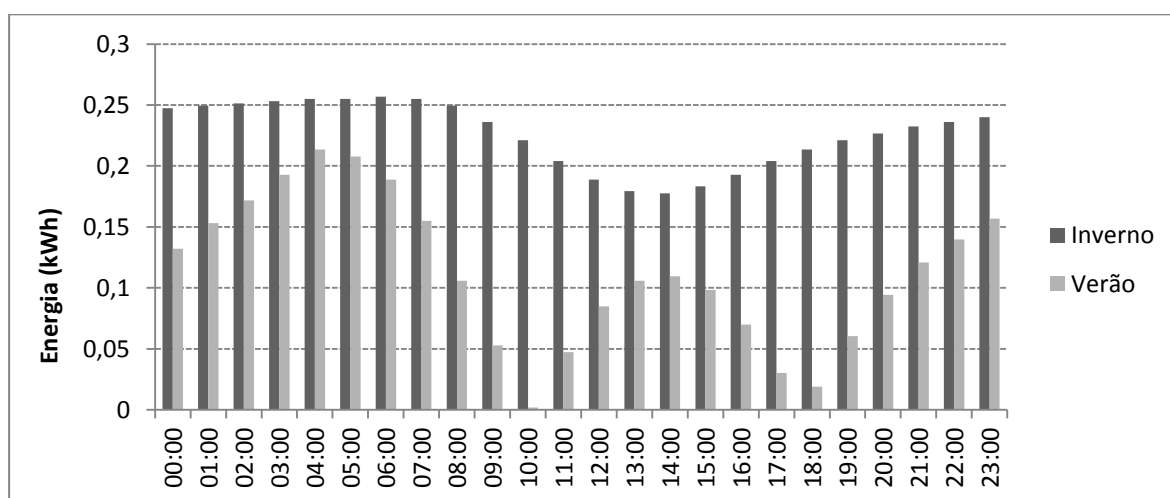
Os caudais de renovação utilizados na determinação das cargas térmicas são determinados através dos valores atribuído às renovações do ar quando a janela está aberta e fechada, considerados também idênticos aos do capítulo anterior ( $\lambda_v = 1 \text{ h}^{-1}$  quando a janela está fechada e  $\lambda_v = 4 \text{ h}^{-1}$  quando está aberta), e do volume dos espaços.

A determinação das cargas térmicas devidas ao processo de ventilação e que determinam as necessidades energéticas de climatização é efectuada através da equação (2), considerando calor específico e densidade do ar constantes. Além disso, apenas são determinadas as cargas térmicas associadas ao aquecimento e arrefecimento do espaço e desprezadas as associadas à humedificação e desumidificação. São ainda desprezadas as perdas e os ganhos solares pela envolvente, as cargas internas, a inércia térmica do edifício, etc., factores que influenciam o balanço térmico do mesmo e que devem ser considerados para a obtenção de um valor mais aproximado das necessidades energéticas. Para este estudo pretende-se apenas retirar conclusões sobre o efeito do modelo proposto na relação entre o consumo energético e a QAI obtida, servindo como um indicador das potencialidades do sistema para a optimização do processo de ventilação.

## 6.1. JANELA FECHADA

### 6.1.1. NECESSIDADES ENERGÉTICAS

A Figura 23 apresenta as necessidades energéticas horárias de um dia útil típico e representativo das estações de aquecimento e arrefecimento quando a janela se encontra sempre fechada.



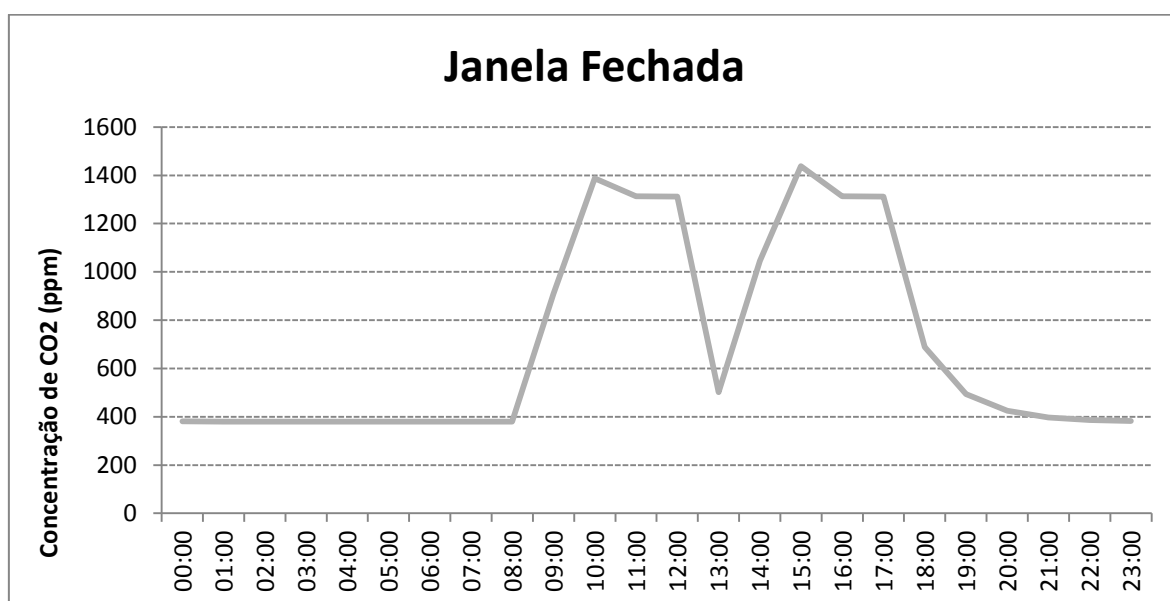
**Figura 23: Necessidades energéticas típicas das duas estações (janela sempre fechada)**



Da simulação efectuada para as 8760 horas de um ano comum as necessidades energéticas estimadas situam-se nos 1294 kWh quando a janela nunca é aberta.

### 6.1.2. NÍVEL DE QAI

A concentração de CO<sub>2</sub> típica de um dia útil quando a janela se encontra permanentemente fechada é apresentada na Figura 24.



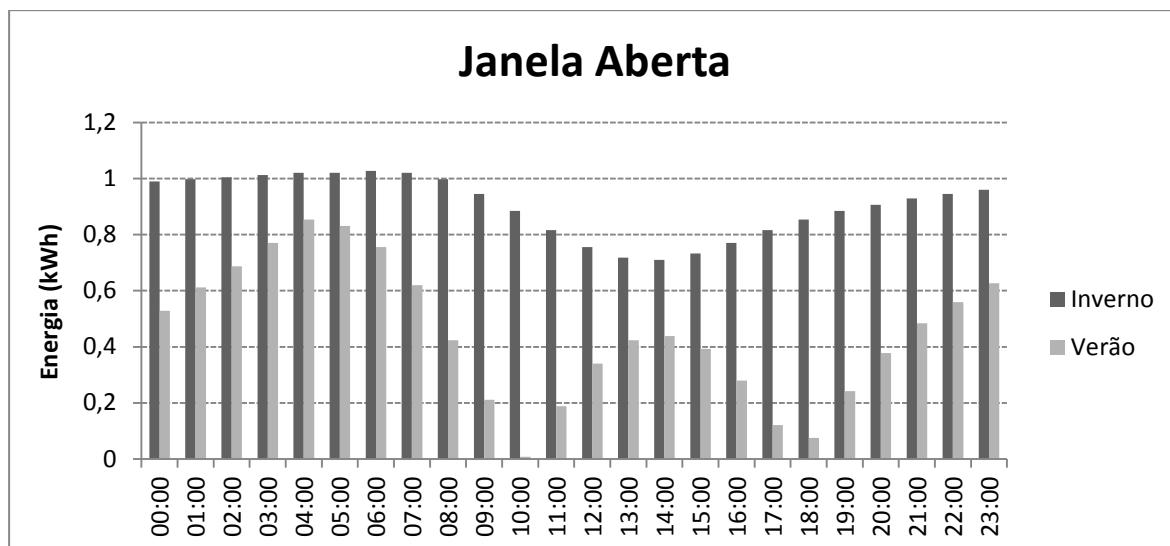
**Figura 24: Concentração típica de CO<sub>2</sub> com a janela sempre fechada**

Ao longo do ano a concentração máxima de CO<sub>2</sub> verificada é de 1644 ppm, sendo que a concentração média é de 606 ppm, o que significa que o modelo consideraria que, em média, a QAI é fraca neste caso.

## 6.2. JANELA ABERTA

### 6.2.1. NECESSIDADES ENERGÉTICAS

As necessidades energéticas típicas, ao longo de um dia, associadas ao caso em que a janela se encontra permanentemente aberta encontram-se apresentadas na Figura 25. Verifica-se um aumento muito acentuado relativamente à situação em que a janela nunca é aberta e proporcional ao número de renovações de ar por hora para os dois casos. Isto significa que as necessidades energéticas neste caso serão cerca de 4 vezes superiores às do caso anterior. Figura 1

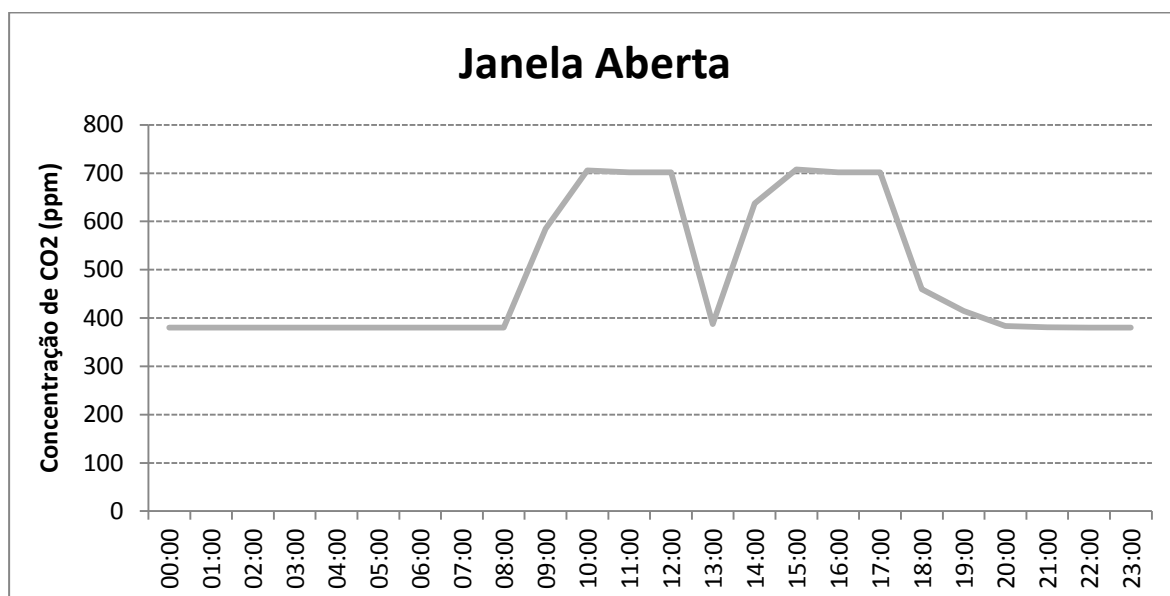


**Figura 25: Necessidades energéticas típicas das duas estações (janela sempre aberta)**

A estimativa das necessidades energéticas respeitantes à simulação da aplicação deste caso durante um ano indicam que esta rondará os 5172 kWh, que, tal como já referenciado, são 4 vezes superiores ao caso anterior.

### 6.2.2. NÍVEL DE QAI

Ao longo de um dia útil, caso a janela esteja sempre aberta, existem tipicamente variações da concentração de CO<sub>2</sub> menos acentuadas e com picos menos elevados, relativamente ao caso anterior, como é visível na Figura 26.



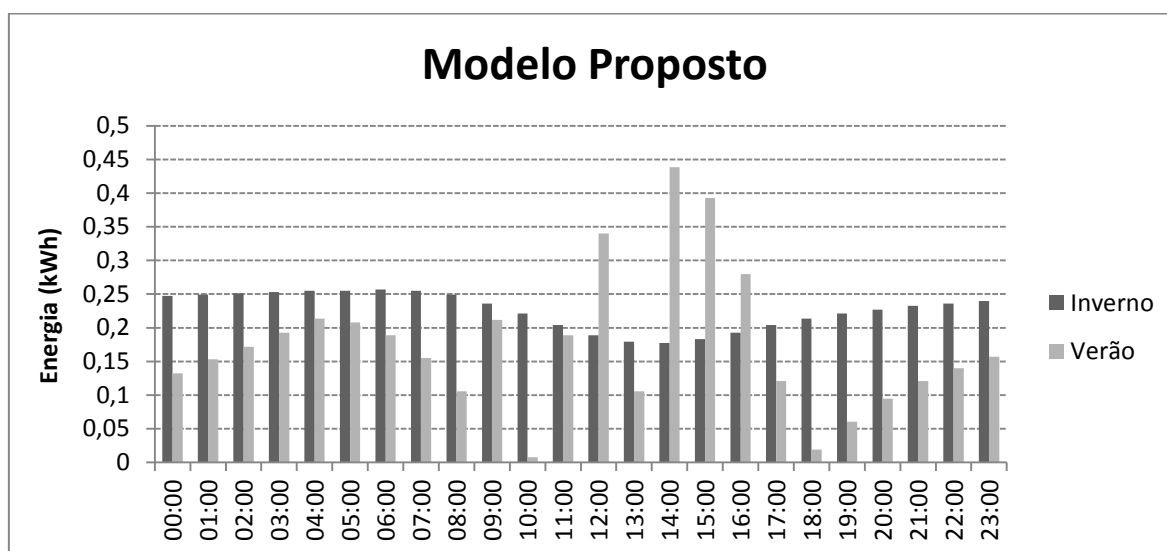
**Figura 26: Concentração típica de CO2 com a janela sempre aberta**

Neste caso de estudo, as estimativas apontam para uma concentração máxima de 718 ppm e uma média de 450 ppm ao longo de todo o ano, o que significa que nunca existem excedências da QAI e que, em média, o nível seria considerado bom pelo modelo proposto.

### 6.3. MODELO PROPOSTO

#### 6.3.1. NECESSIDADES ENERGÉTICAS

As necessidades energéticas relativas ao caso de estudo em que é utilizado o modelo proposto encontram-se apresentadas na Figura 27. Verifica-se neste caso uma alteração da variação típica das cargas térmicas no Verão ao longo das horas de maior ocupação.

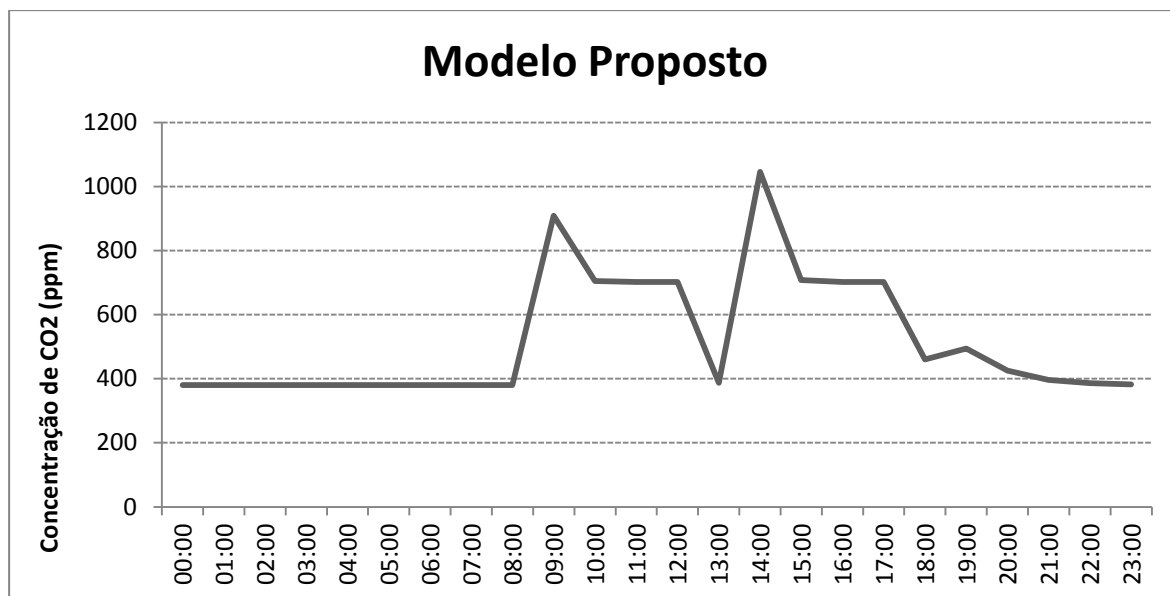


**Figura 27: Necessidades energéticas típicas das duas estações (janela sempre aberta)**

Os resultados obtidos neste caso apontam para necessidades energéticas anuais de cerca de 1576 kWh, bastante mais próximos do caso em que a janela se encontra fechada.

#### 6.3.2. NÍVEL DE QAI

A variação típica da concentração de CO<sub>2</sub> no caso de utilização do modelo proposto pode ser observada na Figura 28.



**Figura 28: Concentração típica de CO2 com o modelo proposto**

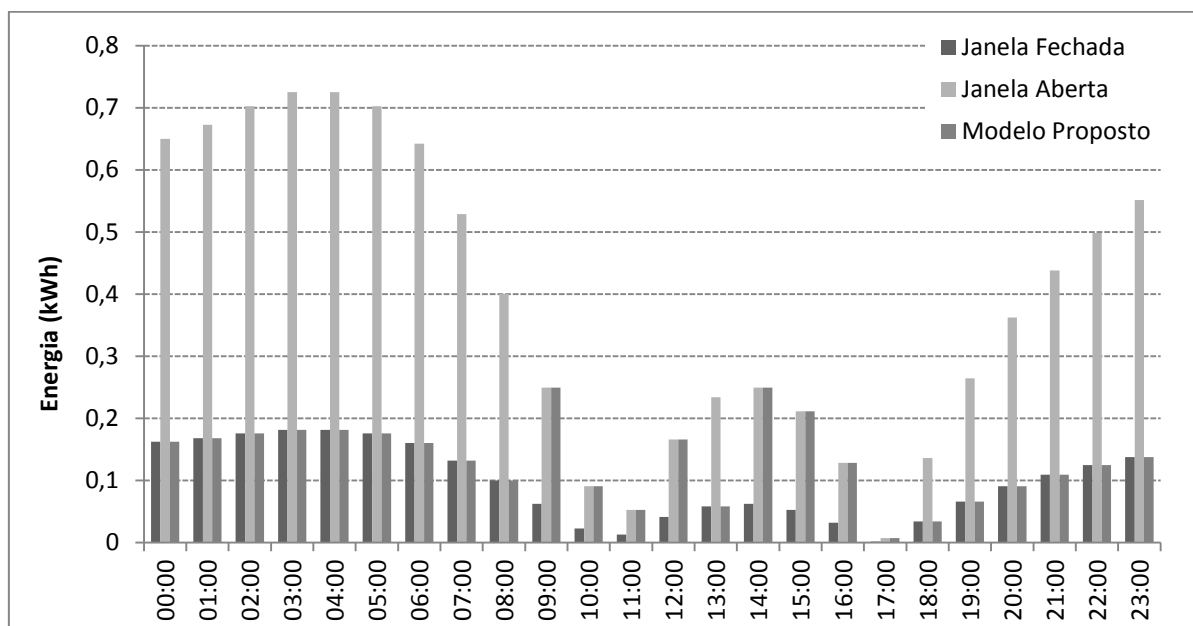
A concentração máxima observada na realização das simulações situa-se nos 1644 ppm, idêntica ao caso em que a janela se encontra fechada, embora exista uma redução acentuada da concentração média, que é estimada como sendo de cerca de 522 ppm e que corresponde a um nível moderado da QAI.

#### **6.4. CONCLUSÕES PRELIMINARES**

Na Figura 29 é efectuada a comparação entre as necessidades energéticas para os 3 casos de estudo.

O consumo necessário ao sistema de climatização para manter os níveis desejados de conforto no interior é máximo para o caso de a janela estar sempre aberta e mínimo para o caso de a janela estar sempre fechada.

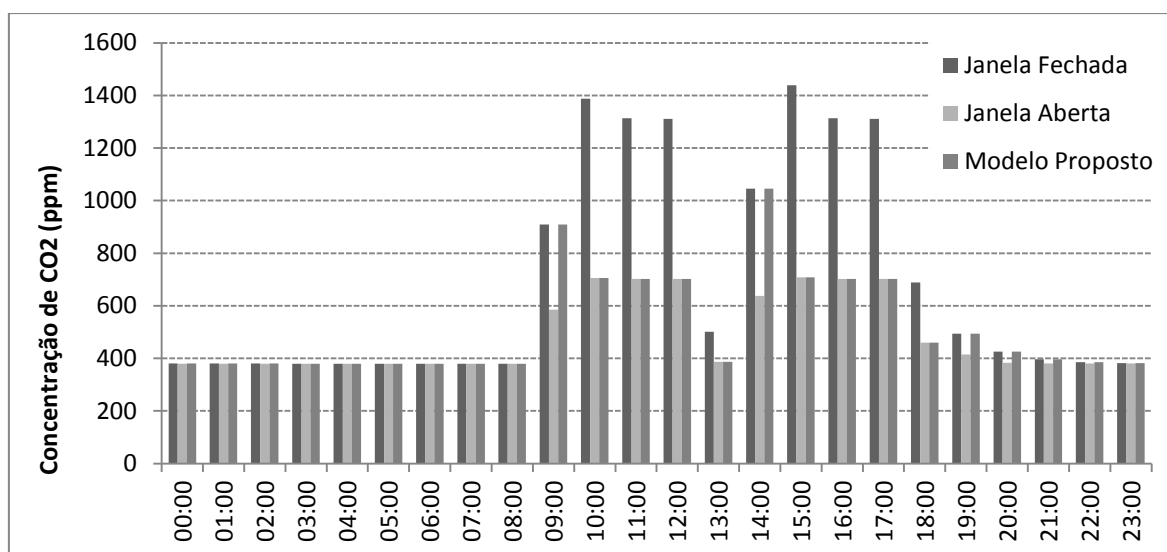
O que se verifica é que o modelo proposto assume com maior frequência que a janela deve estar fechada, o que se traduz em necessidades energéticas muito mais próximas do caso da janela estar fechada, beneficiando bastante a redução dos consumos associados à climatização.



**Figura 29: Comparação das necessidades energéticas típicas dos casos de estudo**

A concentração de CO<sub>2</sub> é apenas considerada variável com a variação da ocupação do espaço, pelo que os três casos apresentam valores idênticos quando não existe presença de pessoas no local. Apenas quando existe ocupação do espaço existem diferenças na concentração de CO<sub>2</sub>, sendo que esta é bastante mais elevada quando a janela está fechada e minimizada quando a janela está aberta.

Existe uma maior tendência para nas horas de maior ocupação o modelo proposto abrir a janela, o que resulta numa QAI média mais adequada e, desse modo, em melhores resultados do sistema.



**Figura 30: Comparação das concentrações típicas de CO<sub>2</sub> nos casos de estudo**

Na Tabela 17 encontram-se apresentados os resultados obtidos em termos das necessidades energéticas anuais e das concentrações máximas e médias para os diferentes casos de estudo.

**Tabela 17 - Resultados anuais obtidos para os diferentes casos de estudo**

<b>Caso de estudo</b>	<b>Necessidades energéticas (kWh/ano)</b>	<b>Concentração máxima de CO<sub>2</sub> (ppm)</b>	<b>Concentração média de CO<sub>2</sub></b>
Janela fechada	1294	1644	606
Janela aberta	5172	718	450
Modelo proposto	1576	1644	522

O facto de as necessidades energéticas associadas ao modelo proposto se encontrarem bastante mais próximas das necessidades mínimas, associadas ao caso de a janela estar sempre fechada, revela a enorme potencialidade de optimização dos consumos energéticos associados à climatização. Por outro lado, este facto é influenciado pela ocupação do espaço, o que significa que quanto maior forem as taxas de ocupação maior serão as necessidades de ventilação associadas à QAI e, provavelmente, deverá ser mais frequentemente sugerida a abertura da janela, elevando assim o consumo energético requerido.

Apesar de as necessidades energéticas não serem muito superiores, a concentração média de CO<sub>2</sub> no caso do modelo proposto é bastante inferior em relação ao caso em que a janela está sempre fechada, o que permite constatar a relevância da gestão eficiente da abertura e do fecho das janelas.

De salientar ainda que, sendo este estudo efectuado numa base horária e sendo aplicadas as decisões relativas ao instante  $t$  apenas no instante  $t+1h$ , a existência de variações algo significativas nos perfis de ocupação e nas condições do espaço não permite uma resposta mais pronta, o que se reflecte em variações repentinas dos resultados. O sistema quando implementado deverá possuir tempos de resposta bastante mais curtos, por forma a responder à variação progressiva dos parâmetros que influenciam a tomada de decisão e, desse modo, controlar atempadamente a QAI e o conforto térmico. Assim, será possível evitar obter concentrações momentâneas desadequadas, como observado pela concentração máxima do caso em que se utiliza o modelo, e ao mesmo tempo diminuir a concentração média de CO<sub>2</sub>.

Em suma, é possível atestar através dos resultados obtidos a importância da utilização inteligente das janelas na procura do ponto óptimo que conjugue baixas necessidades energéticas com uma QAI adequada do espaço. Neste aspecto, os resultados obtidos pela aplicação do modelo vão de encontro ao esperado, na medida em que os consumos requeridos se encontram bastante mais próximos daquele que será o consumo mínimo, associado à janela sempre fechada, e a QAI associada a esse consumo é bastante inferior à associada a esse mesmo caso.





# CAPÍTULO 7

## CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

### 7.1. CONCLUSÕES GERAIS

No âmbito da presente dissertação foi desenvolvido um sistema baseado em ferramentas computacionais capaz de suportar e orientar, em tempo real, as decisões de ocupantes na gestão das janelas dos edifícios. Este sistema pode ser acedido directamente através do servidor local ou por uma ligação remota, através da *Web*.

Da contextualização da temática relativa à ventilação natural de edifícios foram evidenciados os conceitos, formalismos e suas limitações, essenciais para compreender o processo e para arranjar soluções que permitam a sua optimização.

- As preocupações relativas aos projectos de edifícios durante a fase de construção e a implementação de regulamentos legislativos com o intuito de otimizar o seu desempenho energético são passos importantes na busca da sua sustentabilidade;
- É essencial dar mais passos em frente nesse campo, sobretudo atendendo à percentagem actual de consumo energético associado a este sector e ao elevado potencial de redução desse consumo;
- A redução de consumos deve ir de encontro às necessidades e exigências dos ocupantes no que respeito à QAI e ao conforto térmico, por forma a não negligenciar os potenciais efeitos negativos de um mau ambiente no interior dos edifícios;
- A ventilação natural e a gestão de recursos por parte dos ocupantes aparecem como duas áreas com enorme potencial, onde é possível e indispensável intervir;
- São facilmente perceptíveis as vantagens da ventilação natural comparativamente aos sistemas de ventilação mecânica, sobretudo no que respeita aos consumos energéticos, embora se revelem muitas vezes infrutíferas perante a sua dependência de factores climáticos, traduzindo-se por vezes em ventilação insuficiente do edifício;

- O modo como é efectuada a gestão das aberturas pelos ocupantes tem uma contribuição essencial para o desempenho dos sistemas de ventilação.

Do estudo das soluções tecnológicas e das estratégias que apresentam potencial de aplicação no sistema distinguem-se os seguintes “pontos-chave”:

- A contribuição dada pelo conceito de Edifício Inteligente é bastante importante, abrindo novas perspectivas sobre a forma como são geridos os recursos dos edifícios;
- O aparecimento de tecnologias e sistemas inteligentes integrados, nomeadamente na área da domótica, permitem efectuar uma gestão e um controlo automatizado de equipamentos e sistemas, que, conjugados com as redes de informação, podem possibilitar a sustentabilidade do edifício;
- São evidentes as vantagens da integração de sistemas proporcionadas pelas tecnologias domóticas. Para além de a comunicação, e consequente troca de informação, entre sistemas e equipamentos resultar em processos mais eficientes e autónomos, abrem cada vez mais novas perspectivas para o conceito de edifício;
- A utilização das TIC revelam-se como ferramentas preponderantes, pois possibilitam ainda a gestão e o controlo remoto destes sistemas, utilizando para isso um qualquer dispositivo com acesso à Internet;
- À luz destes conceitos, a utilização de sistemas inteligentes para auxiliar ou mesmo automatizar os processos de gestão e decisão é essencial para o bom desempenho energético de um edifício.

O modelo proposto é essencial para a eficiência do sistema, pois é responsável pelo processo de optimização das taxas de fluxo de ar admitidas pelas janelas. Este modelo leva em conta um conjunto de factores algo significativo, de forma a não negligenciar nenhum dos parâmetros de controlo, com influência diferente no processo de tomada de decisão, tornando por um lado esse processo mais complexo e por outro mais eficiente. Embora a avaliação dos parâmetros e a sua conjugação sejam comprovadas por estudos e por valores de referência presentes na legislação actual, este é um modelo heurístico, baseado em processos empíricos, cuja validação depende do estudo do seu funcionamento numa situação real.

O *software* desenvolvido apresenta as características desejadas em termos do *interface* com o utilizador, designadamente na facilidade de utilização e de acesso, com capacidade para apresentar em tempo real e em qualquer lugar do edifício os resultados obtidos.

Assim, a capacidade de chegar ao utilizador, atraindo-o para uma utilização mais assídua, permitirá aumentar a eficiência da interacção do sistema com os ocupantes, com repercussões positivas no processo de optimização do manuseamento das janelas e nos resultados obtidos.

Relativamente ao sistema desenvolvido, o facto de ser direccionado para um utilizador comum e para todo o tipo de edifícios, deixa em aberto a possibilidade de adaptação e integração do mesmo às particularidades associadas a cada caso, que podem permitir aumentar a eficiência do modelo de decisão e do funcionamento do sistema em si. Nesse aspecto, a arquitectura do sistema, a tipologia do edifício, a possibilidade de integração com outros sistemas ou a possibilidade de utilização de um sistema híbrido, são factores passíveis de serem optimizados consoante as características do edifício e do espaço.

Os resultados obtidos na análise do modelo permitem concluir que este adapta-se diferenciadamente às condições a que o espaço se encontra sujeito, tal como pretendido. É ainda de salientar que essa adaptação não é muito previsível em certos casos, tornando a avaliação da influência de cada parâmetro nos resultados obtidos menos conclusiva, o que implica uma análise para cada instante dos motivos que se encontram na base da recomendação do sistema.

No entanto, a validação e optimização do modelo encontra-se dependente da sua implementação e do estudo dos resultados obtidos para uma situação real, uma vez que os *inputs* introduzidos na análise teórica do modelo estão sujeitos a desvios e a erros relativamente aos valores reais, podendo não traduzir eficazmente as situações que se pretendem analisar.

O caso de estudo permite confirmar a relevância do processo de optimização da utilização da ventilação natural, uma vez que é constatado que o modelo efectua uma gestão racional das janelas com vista a assegurar uma conjugação eficiente das necessidades energéticas para efeitos de climatização e da QAI. Isto é verificado pela proximidade das necessidades energéticas anuais relativamente ao caso em que a janela se encontra fechada, com um aumento de apenas 20%, e pela concentração média de CO<sub>2</sub>, que, embora não apresente níveis “bons”, apresenta níveis adequados e bastante inferiores ao da janela fechada. Isto significa que o modelo é capaz de perceber quais os instantes em que a janela deve ser aberta por forma a garantir índices aceitáveis de QAI e quais os instantes em que não será necessária a abertura da janela, de forma a não aumentar as necessidades energéticas associadas à climatização do espaço.

É importante referir que tanto a análise ao modelo como o caso de estudo apresentado são efectuados numa base horária e, portanto, encontram-se sujeitos a alterações repentinas e acentuadas das condições em que se encontra o espaço, que se repercutem numa resposta tardia do sistema e que influenciam por vezes negativamente os resultados obtidos. Se esta análise fosse efectuada em períodos mais curtos, seria possível constatar uma maior capacidade do modelo responder às alterações progressivas dessas condições, uma vez que não serão muito acentuadas.

Ao longo da realização da dissertação foram sendo evidenciadas e verificadas as potencialidades do sistema, com resultados bastante interessantes em termos de adaptação e capacidade de gestão das necessidades energéticas e da qualidade do ar, que permitem atestar a importância do estudo de sistemas inteligentes para a optimização do processo de ventilação natural. É imperial o estudo e optimização do modelo desenvolvido através da análise dos resultados obtidos da implementação do sistema, servindo o mesmo como uma base para esse estudo. A conclusão de que a ventilação natural é um processo muito passível de ser explorado e optimizado é evidente, assim como é evidente que o uso de tecnologias associadas aos sistemas inteligentes se perfila como uma solução com bastante potencial.

## **7.2. TRABALHOS FUTUROS**

Partindo das conclusões deste trabalho é possível apontar diversos pontos passíveis de serem explorados para a viabilização do sistema. Apesar de todas as potencialidades decorrentes dos conceitos que estão na sua base, a impossibilidade de implementar o sistema não permite a introdução de condições reais nas simulações realizadas, que permitam obter resultados totalmente fiáveis e que validem o modelo de decisão proposto. Deste modo, abrem-se várias possibilidades de investigação na sequência desta dissertação, podendo até o sistema servir como base para essa investigação. De entre essas possibilidades é possível destacar:

- Implementação do sistema desenvolvido e consequente análise de resultados válidos para as diferentes estações do ano, tipo de edifício e zonas, de modo a optimizar e validar o modelo de decisão;
- Estudo da implementação de um modelo que considere condições adaptativas de conforto térmico;

- Simulação do sistema através de *softwares* de modelação energética de modo a estudar o seu impacto energético;
- Integração de novas funcionalidades, permitindo, por exemplo, a comunicação com sistemas de ventilação mecânica, quando utilizados sistemas híbridos, a comunicação com sistemas automatizados de gestão de estores e persianas ou utilização de detectores de presença que permitam uma resposta mais rápida às diferentes taxas de ocupação;
- Aplicação dos conceitos utilizados com o objectivo de estudar a possibilidade de aplicação em janelas motorizadas, de modo a efectuar uma gestão automática, sem intervenção do ocupante;



## BIBLIOGRAFIA

[1] - Maldonado, E.- *Implementing the Energy Performance of Buildings Directive (EPBD): Featuring Country Reports 2010*. Bruxelas: European Commission 2011. ISBN/ISSN 978-92-9202-090-3

[2] - Matos, C. R. S. V. - *Efeito da Ventilação Natural na Qualidade do Ar Interior e na Eficiência Energética dos Edifícios*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Aveiro, 2009.

[3] - Zeferina, V. d. S. - *Optimização de sistemas de ventilação natural em edifícios*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Aveiro, 2010.

[4] - Allocca, C.; Chen, Q.; Glicksman, L. R. - Design analysis of single-sided natural ventilation. *Energy and Buildings*. Vol. 35, n.º 8 (2003), p. 785-795.

[5] - Allard, F.; Santamouris, M. - *Natural Ventilation in Buildings: a design handbook*. Routledge, 1998. ISBN 978-1873936726.

[6] - Nunes, R.; Sêrro, C. - *Edifícios Inteligentes: Conceitos e Serviços* [online]. DEEC, IST/INESC. [Consulta Disponível em]: <http://domobus.net/>.

[7] - Neto, C.; Lopes, A. - *Sistema de Controlo de Edifícios Inteligentes - Processos Tecnológicos*. Escola Superior de Tecnologia, Instituto Politécnico de Castelo Branco, 2004.

[8] - Awbi, H. B. - Chapter 7 - Ventilation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Vol. 2, n.º 1-2 (1998), p. 157-188

[9] - APA - *Qualidade do Ar em Espaços Interiores - Um Guia Técnico* [online]. Agência Portuguesa do Ambiente, Amadora: Janeiro de 2009.

- [10] - Silva, M. G. d.- *Qualidade do Ar Interior: Onde estamos e para onde vamos*. Universidade de Lisboa, 2010. [Disponível em]: <http://energia2020.fc.ul.pt/>.
- [11] - Silva, J.; Regueiro, E.; Dinis, M. A.- *Avaliação da Qualidade do Ar Interior num Bloco Operatório e numa Central de Esterelização Utilizando como Indicador a Concentração de Dióxido de Carbono*. Universidade Fernando Pessoa. [Disponível em]: <https://bdigital.ufp.pt/>.
- [12] - Tirone, L. – *Construção Sustentável: Soluções eficientes hoje, a nossa riqueza de amanhã*, 2ª Ed., 2008. ISBN 978-989-20-1191-2
- [13] - ASHRAE Standard 55-2004- *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy (ANSI Approved)*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc, 2004.
- [14] - Cho, Y.; Lee, J.; Kim, T.-Y. - The impact of ICT investment and energy price on industrial electricity demand: Dynamic growth model approach. *Energy Policy*. ISSN 0301-4215. Vol. 35, n.º 9 (Setembro de 2007), p. 4730-4738.
- [15] - A Casa Inteligente - *A Casa Inteligente - Conceito* [online]. [Consulta Disponível em]: <http://www.acasainteligente.com/>.
- [16] - Paula, J. A. E. S. - *As TIC na promoção da eficiência energética industrial*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Aveiro, 2010.
- [17] - Paulo & Luís Martins, L. - *Gestão Técnica Centralizada* [online]. [Consulta Disponível em]: <http://www.plmartins.pt/>.
- [18] - Domática - *Gestão Técnica de Edifícios - Soluções* [online]. [Consulta Disponível em]: <http://www.domatica.pt/>.



- [19] - Eloy, S.; Plácido, I. - *A contribuição das Tecnologias de Informação e Comunicação e domótica na sustentabilidade da habitação*. Trabalho apresentado em Congresso Arquitectura Sustentável. Futuro com [ ] passado... , In Congresso Arquitectura Sustentável, 2008.
- [20] - Cardoso, D. L. - *Domótica Inteligente - Um Contributo Prático*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, 2009.
- [21] - Queiroz, R. B.; Azevedo, R. C. A. - *Rede de Sensores sem Fio para Automação Predial com Módulos Meshbean*. Trabalho de Graduação, Universidade de Brasília, 2009.
- [22] - Loureiro, A. A. F. [et al.] - *Redes de Sensores Sem Fio*. Departamento de Ciência da Computação, Universidade Federal de Minas Gerais:
- [23] - Silva, A. T. - *Módulos de Comunicação Wireless para Sensores*. Projecto, Seminário ou Trabalho Final de Curso, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2007.
- [24] – Ruis; Magda. - *História dos Sistemas de Apoio à Decisão (SAD)* [online]. [Consulta Disponível em]: <http://mestradosiad.blogspot.com/>.
- [25] - Viegas, J. C. - *Ventilação natural em edifícios de habitação*. Edifícios 4, LNEC. Lisboa, 2002.
- [26] – Piedade, A. C. - *Conforto térmico em Edifícios: Aplicação dos Regulamentos Energéticos*. Apresentação na Universidade Lusíada,
- [27] - Domótica, D.-S. d. - *Funcionalidades Domótica* [online]. [Consulta Disponível em]: <http://domopor.com/>.



## ANEXO A - CONDIÇÕES DE REFERÊNCIA (RSECE E RCCTE)

### Qualidade do Ar Interior

**Tabela A.1 - Concentrações máximas de referência de poluentes no interior de edifícios**

Parâmetros	Concentração máxima de referência (mg/m <sup>3</sup> )
Partículas suspensas no ar (PM <sub>10</sub> )	0,15
Dióxido de carbono	1800
Monóxido de carbono	12,5
Ozono	0,2
Formaldeído	0,1
COV	0,6

É ainda definida uma concentração máxima de referência de 500 unidades formadoras de colónias (UFC) para microorganismos, incluindo bactérias e fungos, e de 400Bq/m<sup>3</sup> de Rádion, sendo que a pesquisa deste último é obrigatória apenas em edifícios construídos em zonas graníticas.

**Tabela A.2 - Caudais mínimos de ar novo**

Tipo de actividade		Caudais mínimos de ar novo	
		{m <sup>3</sup> /(h.ocupante)}	{m <sup>3</sup> /(h.m <sup>2</sup> )}
Residencial	Salas de estar e quartos	30	-
	Salas de espera	30	-
Comercial	Lojas de comércio	-	5
	Áreas de armazenamento	-	5
	Vestiários	-	10
	Supermercados	30	5
Serviços de refeições	Salas de refeições	35	-
	Cafetarias	35	35
	Bares, salas de <i>cocktail</i>	35	35
	Sala de preparação de refeições	30	-
Empreendimentos turísticos	Quartos/ <i>suites</i>	30	-
	Corredores/átrios	-	5
Entretenimento	Corredores/átrios	-	5
	Auditório	30	-
	Zona de palco, estúdios	30	-

	Café/foyer	35	35
	Piscinas	-	10
	Ginásio	35	-
Serviços	Gabinetes	35	5
	Salas de conferência	35	20
	Salas de assembleia	30	20
	Salas de desenho	30	-
	Consultórios médicos	35	-
	Salas de recepção	30	15
	Salas de computador	30	-
	Elevadores	-	15
Escolas	Salas de aula	30	-
	Laboratórios	35	-
	Auditórios	30	-
	Bibliotecas	30	-
	Bares	35	-
Hospitais	Quartos	45	-
	Áreas de recuperação	30	-
	Áreas de terapia	30	-

## Conforto Térmico

**Tabela A.3 - Condições de conforto de referência no interior dos edifícios**

<b>Estação</b>	<b>Temperatura do Ar (°C)</b>	<b>Humidade Relativa (%)</b>
Aquecimento	20	-
Arrefecimento	25	50

O regulamento define ainda que os requisitos mínimos de construção deverão garantir uma taxa de referência para a renovação do ar, de 0,6 renovações por hora sob condições médias de funcionamento, em todos os edifícios, dotados ou não de sistemas mecânicos de ventilação.

A definição dos períodos relativos à estação de aquecimento e de arrefecimento é dependente do local e do clima, pelo que é impossível definir um período efectivo para cada uma das estações.

O RCCTE define a estação convencional de aquecimento como o período do ano com início no primeiro decêndio posterior a 1 de Outubro em que, para cada localidade, a temperatura média diária é inferior a 15°C e com termo no último decêndio anterior a 31 de Maio em que a referida temperatura ainda é inferior a 15°C. Já a estação convencional de arrefecimento é definida como o conjunto dos quatro meses de Verão (Junho, Julho, Agosto e Setembro) em que é maior a probabilidade de ocorrência de temperaturas exteriores elevadas que possam exigir arrefecimento ambiente em edifícios com pequenas cargas térmicas.

De salientar ainda que, na definição dos requisitos exigenciais de conforto térmico de referência, o RSECE limita a velocidade do ar interior, não podendo esta exceder os 0,2 m/s.

## ANEXO B - MODELO DE DECISÃO: RESULTADOS

Tabela B.1 - Decisão do sistema para todas as situações possíveis

Situação			Decisão
Nível de QAI	Nível de conforto térmico	Nível das condições no exterior	Janela
Bom	Bom	Bom	Fechada
Bom	Moderado	Bom	Indiferente
Bom	Fraco	Bom	Aberta
Bom	Mau	Bom	Aberta
Moderado	Bom	Bom	Aberta
Moderado	Moderado	Bom	Aberta
Moderado	Fraco	Bom	Aberta
Moderado	Mau	Bom	Aberta
Fraco	Bom	Bom	Aberta
Fraco	Moderado	Bom	Aberta
Fraco	Fraco	Bom	Aberta
Fraco	Mau	Bom	Aberta
Mau	Bom	Bom	Aberta
Mau	Moderado	Bom	Aberta
Mau	Fraco	Bom	Aberta
Mau	Mau	Bom	Aberta
Bom	Bom	Razoável	Fechada
Bom	Moderado	Razoável	Fechada
Bom	Fraco	Razoável	Fechada
Bom	Mau	Razoável	Indiferente
Moderado	Bom	Razoável	Aberta
Moderado	Moderado	Razoável	Aberta
Moderado	Fraco	Razoável	Aberta
Moderado	Mau	Razoável	Aberta
Fraco	Bom	Razoável	Indiferente
Fraco	Moderado	Razoável	Aberta
Fraco	Fraco	Razoável	Aberta
Fraco	Mau	Razoável	Aberta
Mau	Bom	Razoável	Aberta
Mau	Moderado	Razoável	Aberta
Mau	Fraco	Razoável	Aberta
Mau	Mau	Razoável	Aberta
Bom	Bom	Mau	Fechada
Bom	Moderado	Mau	Fechada
Bom	Fraco	Mau	Fechada
Bom	Mau	Mau	Fechada
Moderado	Bom	Mau	Fechada
Moderado	Moderado	Mau	Fechada
Moderado	Fraco	Mau	Fechada

<b>Situação</b>			<b>Decisão</b>
<b>Nível de QAI</b>	<b>Nível de conforto térmico</b>	<b>Nível das condições no exterior</b>	<b>Janela</b>
Moderado	Mau	Mau	Fechada
Fraco	Bom	Mau	Fechada
Fraco	Moderado	Mau	Fechada
Fraco	Fraco	Mau	Fechada
Fraco	Mau	Mau	Aberta
Mau	Bom	Mau	Fechada
Mau	Moderado	Mau	Indiferente
Mau	Fraco	Mau	Aberta
Mau	Mau	Mau	Aberta

## ANEXO C – IMPLANTAÇÃO PROPOSTA

Neste exemplo são seleccionados os equipamentos que compõem o sistema, nomeadamente os sensores e módulos, e analisadas as suas características, com o objectivo de obter informação mais concreta sobre os custos e os consumos associados.

O principal critério utilizado na escolha dos equipamentos prende-se com o consumo energético.

Os módulos utilizados utilizam tecnologia *Zigbee* e devem ser complementados com os controladores necessários para enviar e receber a informação, o que leva a necessidade de inclusão de *hardware* para esse efeito. Para esta proposta considerou-se uma placa *Arduino*.

Os equipamentos seleccionados e as suas características são apresentados na Tabela C.1.

**Tabela C.1 - Equipamentos seleccionados para análise de custos**

Equipamento	Modelo	Preço	Unidades
Sensores de temperatura e humidade	Sensirion SHT21	18.10 € <sup>(1)</sup>	2
Sensor de CO <sub>2</sub>	Parallax MG811	24.06 € <sup>(2)</sup>	1
Sensor de partículas PM <sub>10</sub>	Sharp - GP2Y1010AU0F	16.07 € <sup>(1)</sup>	1
Sensor de ozono	MQ131	\$12.90 USD <sup>(2)</sup>	1
Sensor de janela	OPUS 561.414	56.40 € <sup>(3)</sup>	1
Módulos <i>Xbee</i>	Maxstream XB24-AWI-001	15.68 € <sup>(1)</sup>	3
Placa <i>Arduino Shield Xbee</i>	Maxstream ARDUINO - A000021	13.16 € <sup>(1)</sup>	3

<sup>(1)</sup> Distribuidor Farnell

<sup>(2)</sup> Distribuidor Mouser

<sup>(3)</sup> OPUS *green*, controlador incluído

Da análise da Tabela C.1 é possível efectuar uma estimativa dos custos de aquisição dos sensores e módulos necessários. Contudo, esta análise deverá ser efectuada considerando as duas possibilidades de implementação do sistema resultantes das alternativas referentes à monitorização das condições exteriores.



Há, portanto, a necessidade de utilizar apenas 2 módulos e um sensor de temperatura e humidade em situações em que a recolha dos dados exteriores seja efectuada por uma rede meteorológica na zona, que se poderá reflectir numa redução algo significativa dos custos envolvidos.

As estimativas efectuadas resultam assim nos custos totais apresentados na Tabela C.2.

**Tabela C.2 - Estimativas de custos totais de aquisição do sistema**

<b>Monitorização exterior</b>	<b>Custo total</b>
Estação meteorológica	228.83 €
Rede meteorológica	156.24 €

Os valores obtidos visam apenas idealizar os custos médios envolvidos na aquisição dos equipamentos necessários, sendo que na realidade poderão ser maiores ou menores, consoante os modelos e tipo de implantação utilizados.

Dentro do espectável, restringindo o campo de comparação aos actuais sistemas e processos automatizados, são valores bastante aceitáveis, sendo que, no entanto, envolverão custos de manutenção que poderão ser algo consideráveis, sobretudo nos sensores relativos à monitorização de poluentes, mais frequentemente sujeitos a substituição de filtros e a outro tipo de problemas.

Os consumos associados aos equipamentos são mais acentuados nos sensores de poluentes, embora sejam muito pouco significativos. O sensor de CO<sub>2</sub> apresenta um consumo de cerca de 2 mA em estado *standby* e de 160 mA em modo de recepção/transmissão. Já o sensor de PM<sub>10</sub> revela consumos típicos da ordem dos 11 mA, enquanto o sensor de ozono apresenta um consumo típico menor que 900mW (para uma tensão de alimentação de 5 V).

Relativamente aos sensores de temperatura e humidade e aos módulos *XBee* os consumos são ainda mais reduzidos, passando mesmo para a casa dos  $\mu$ A, contribuindo para que o sistema apresente um impacte energético pouco relevante.

## ANEXO D – PORTAL SGQAE

O portal desenvolvido, denominado Portal SGQAE (Sistema de Gestão da Qualidade do Ar em Edifícios), é composto por várias páginas *Web* estáticas e por uma aplicação que permite o acesso permanente aos dados guardados na base de dados.

O seu conteúdo é bastante simples, constando de páginas de informação sobre as temáticas em que se baseia o sistema e de uma página de *Login* em que o utilizador tem acesso aos *outputs* do sistema, designadamente ao estado recomendado da janela e aos níveis de QAI e de conforto térmico.

A gestão *online* das janelas é efectuada através da seguinte janela:

The screenshot displays the SGQAE web application in a Mozilla Firefox browser. The main content area features a table titled 'Monitorização da Qualidade do Ar em Edifícios' with the following data:

Divisão	Estado Recomendado	Estado corrente
Divisão 1	Aberta	Aberta
Divisão 2	Aberta	Fechada
Divisão 3	Fechada	Aberta
Divisão 4	Fechada	Fechada

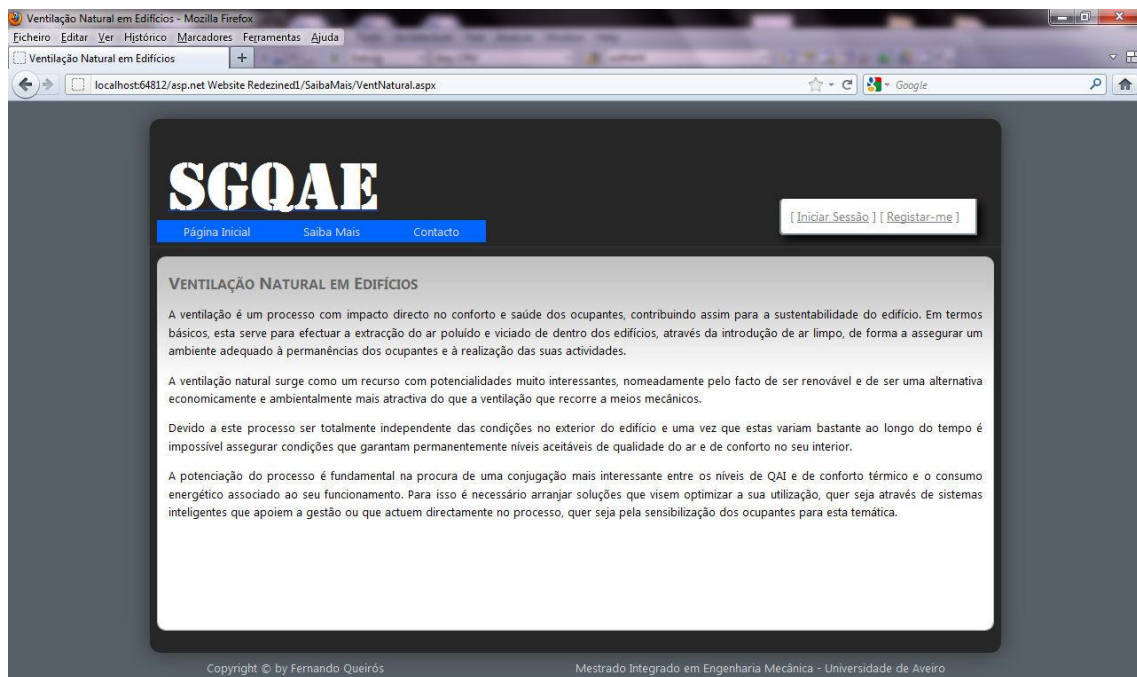
Below the table are buttons for 'QAI', 'Conforto Térmico', and '<< Voltar'. The interface also includes a 'Welcome Utilizador!' message with a 'Log Out' link, a 'Saiba Mais' link in the top navigation bar, and a footer with copyright information for Fernando Queirós and the Universidade de Aveiro.

A janela anterior é iniciada após a realização do *Login*, sendo que é possível através dela aceder à informação processada pela aplicação local. Essa informação consiste nos estados recomendados e correntes de cada janela associada às diferentes divisões monitorizadas.

Relativamente à página inicial, é possível através do menu “Saiba Mais” aceder a informação relativa aos seguintes parâmetros:

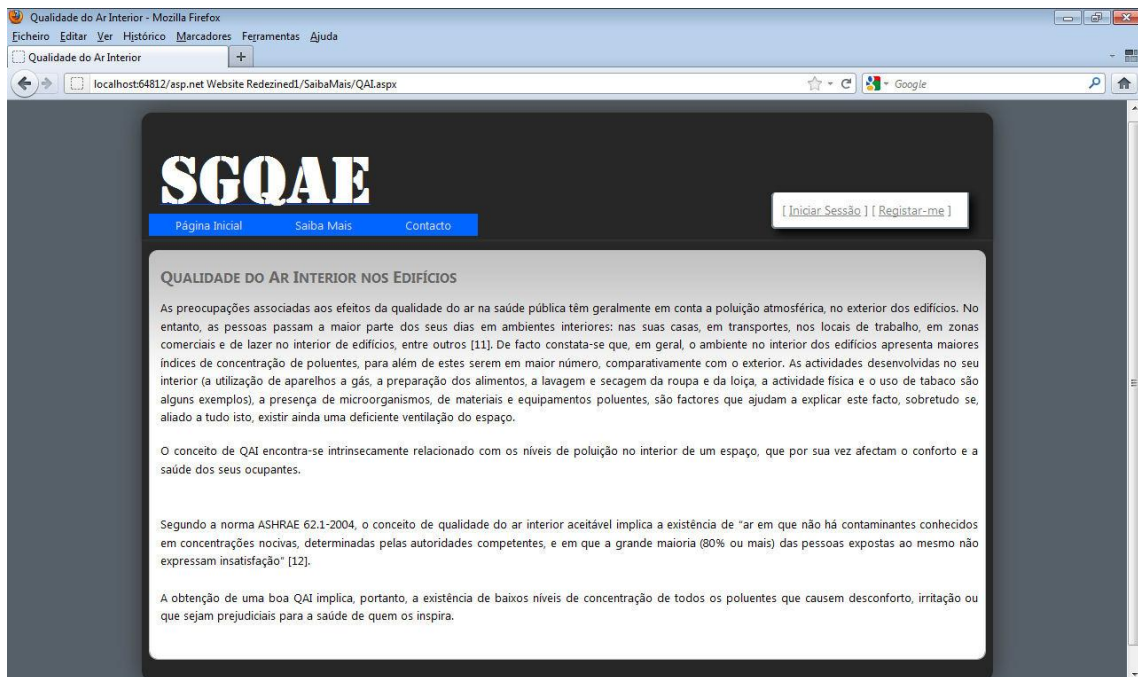
## ▪ Ventilação Natural em Edifícios

Nesta página é descrita a importância da ventilação na garantia dos bons índices de QAI em edifícios, assim como as vantagens da ventilação natural quando utilizada com esse fim, as suas limitações e a necessidade de otimizar o seu processo.



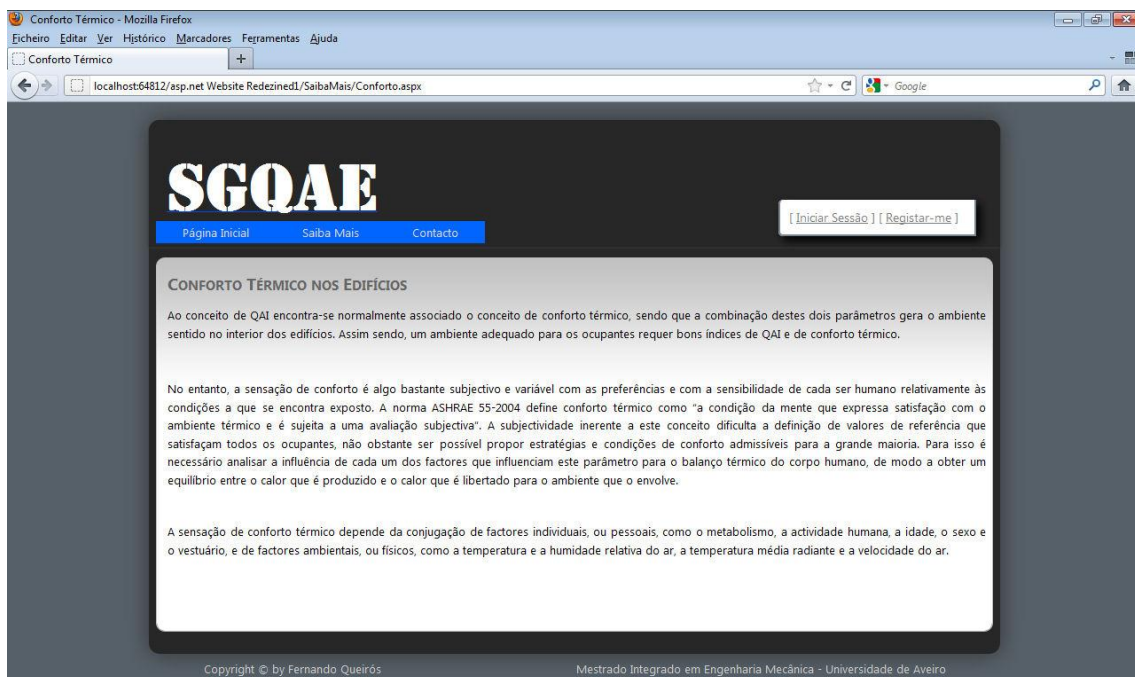
## ▪ Qualidade do Ar Interior

Na figura seguinte encontra-se ilustrada a página relativa à QAI. A informação presente nessa janela consiste na contextualização e importância deste parâmetro na saúde dos ocupantes, bem como a definição proposta pela norma ASHRAE relativa à QAI.



## ▪ Conforto Térmico

A definição de conforto térmico e os factores associados encontram-se apresentados nesta página.



## ▪ Consumo Energético em Edifícios

Apresentação do contexto em que surgem as preocupações relacionadas com a eficiência energética no sector dos edifícios e importância da optimização dos consumos relacionados com os sistemas de climatização.



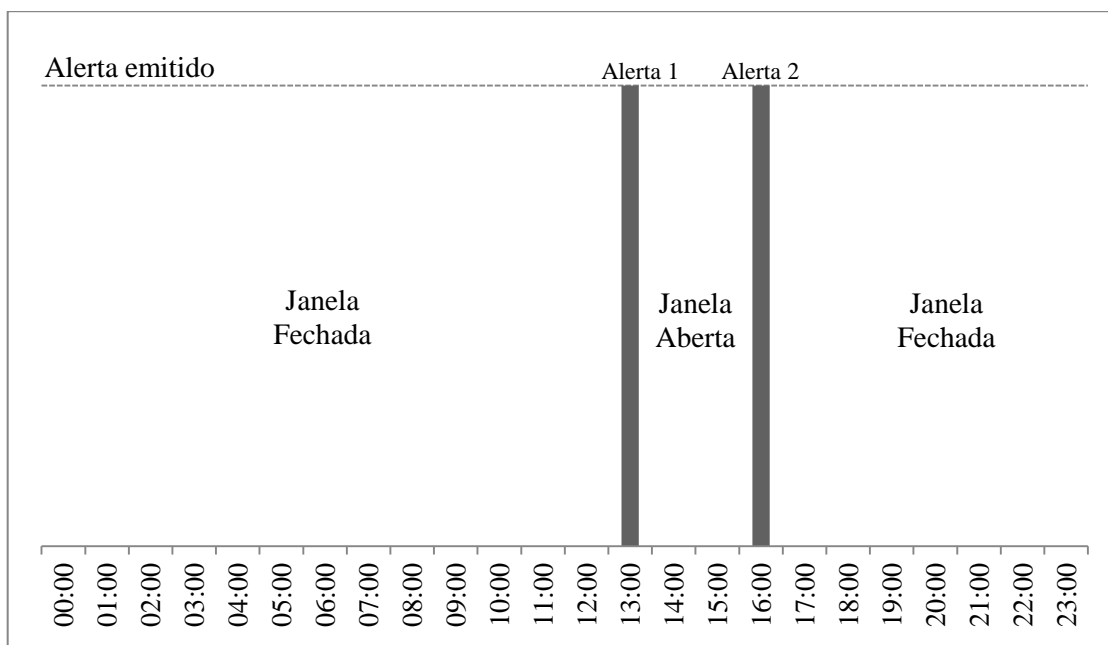
## ▪ Legislação

Descrição do enquadramento legal em que se insere a temática do desempenho energético de edifícios na área da climatização, dos regulamentos legislativos europeus e portugueses associados e do contexto em que surgem os mesmos.

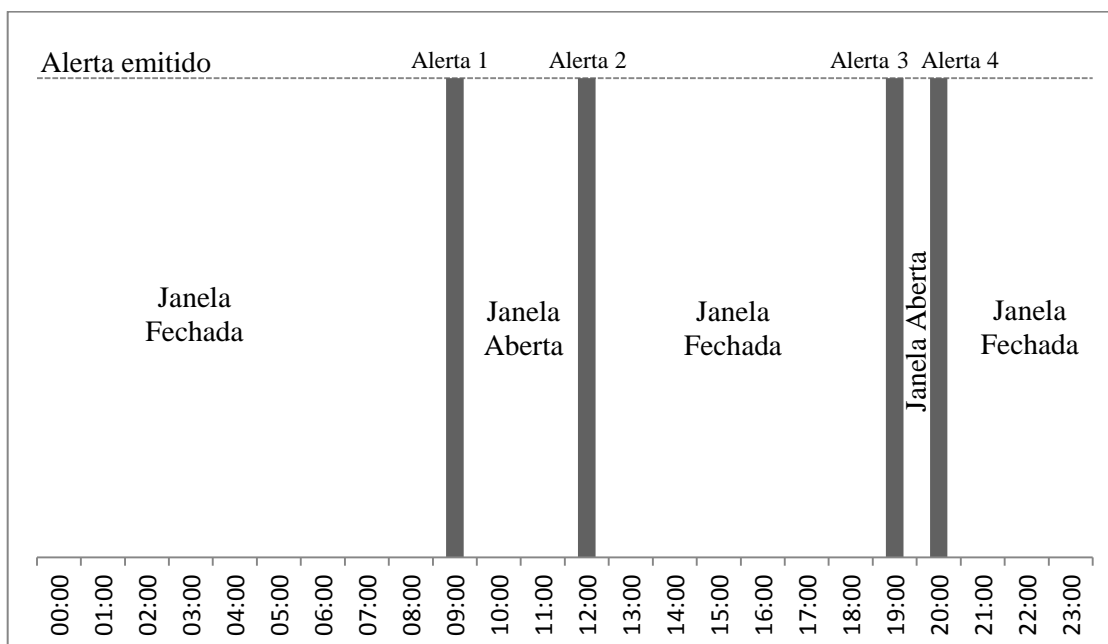


## ANEXO E – ANÁLISE DO MODELO: RESULTADOS

### Alertas emitidos em típicos dias úteis Bragança – Estação de Aquecimento – Sala de Aula

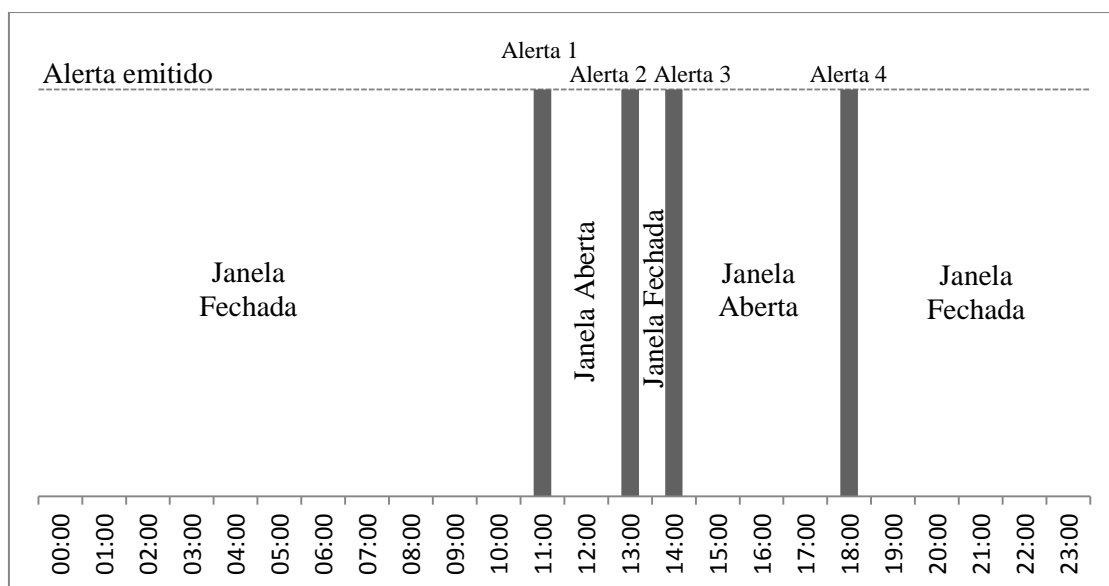


### Alertas emitidos em típicos dias úteis Bragança – Estação de Arrefecimento – Sala de Aula



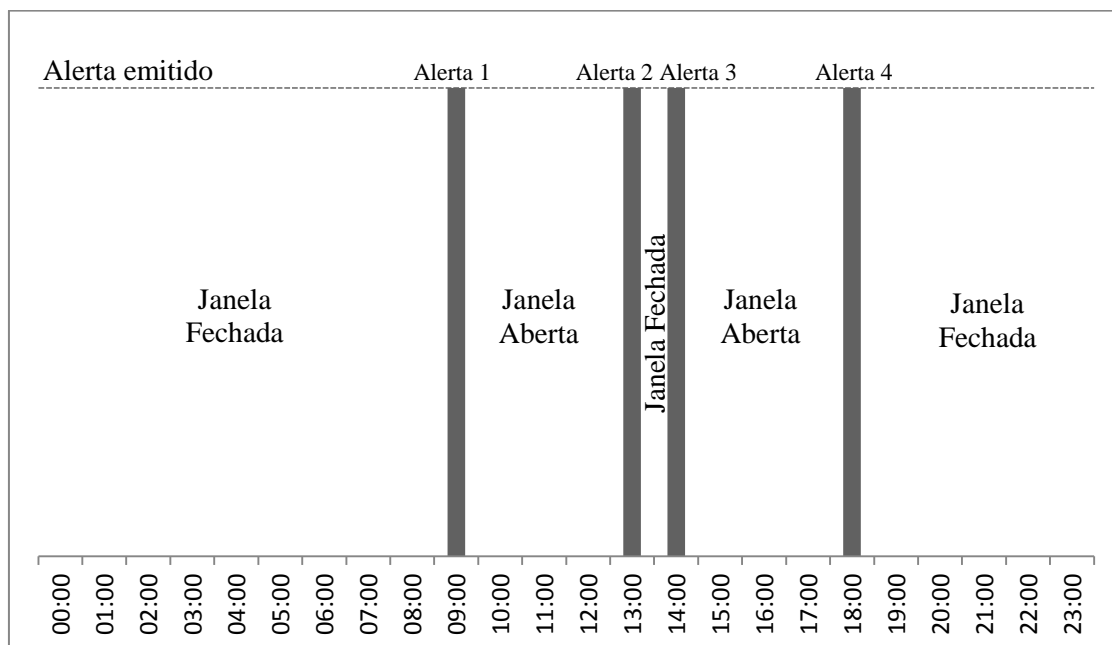
### Alertas emitidos em típicos dias úteis

#### Aveiro – Estação de Aquecimento – Sala de Aula



### Alertas emitidos em típicos dias úteis

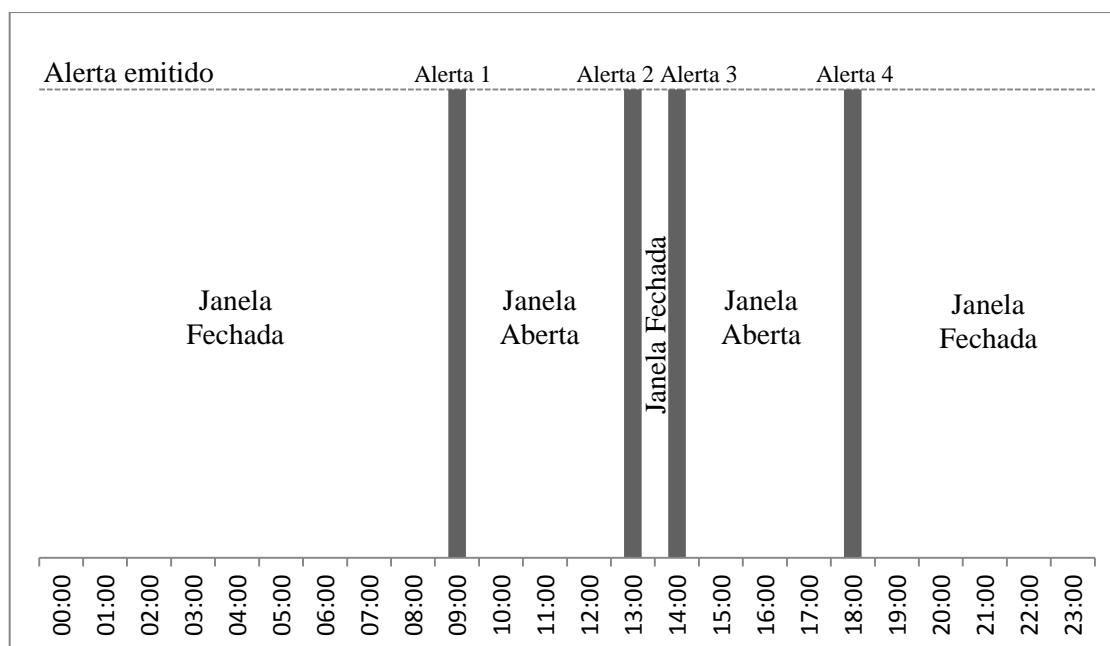
#### Aveiro – Estação de Arrefecimento – Sala de Aula





### Alertas emitidos em típicos dias úteis

#### Vila Real de Santo António – Estação de Aquecimento – Sala de Aula



### Alertas emitidos em típicos dias úteis

#### Vila Real de Santo António – Estação de Arrefecimento – Sala de Aula

